

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра інженерної екології

«На правах рукопису»
УДК 504.61

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Ткачук К.К.
(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ____ ” _____ 2018__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності _____ 101 «Екологія»
(код і назва спеціальності)

на тему «Застосування вітросилової установки для отримання «зеленої»
енергії та локального водопостачання»

Виконала: студентка VI курсу, групи ОЗ-71мп

Назарова Вікторія Сергіївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник _____ проф., д.т.н., проф. Ремез Н.С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

проф. каф. підземного геобудівництва, д.т.н., проф. Зуєвська Н.В _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2018 року

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра інженерної екології

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність – 101 «Екологія»

Спеціалізація – Інженерна екологія та ресурсозбереження

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ткачук К.К.
 (підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Назаровій Вікторії Сергіївні

1. Тема дисертації «Застосування вітросилової установки для отримання «зеленої» енергії та локального водопостачання»

Науковий керівник дисертації Ремез Наталія Сергіївна, д.т.н. професор,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації _____

3. Об'єктом дослідження є процес отримання електроенергії за допомогою вітросилової установки.

4. Предметом дослідження є зовнішні та внутрішні фактори впливу на ефективність роботи вітросилової установки.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: провести аналіз існуючих публікацій щодо особливостей застосування вітросилових установок різних типів; провести аналіз технологічного процесу отримання електричний та видобутку ґрунтових вод з використанням вітросилових установок; дослідити залежність ефективності роботи вітросилової установки від швидкості вітру та особливостей

конструкції; провести техніко-економічне обґрунтування впровадження вітросилової установки з можливістю видобутку ґрунтових вод в сільському господарстві.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 23 формули; 22 таблиці; 10 рисунків.

7. Орієнтовний перелік публікацій Збірник І науково-технічної конференції магістрантів ІЕЕ; наукове видання «Питання історії науки і техніки»

8. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Репін М.В., к. т. н.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Затвердження теми магістерської дисертації науковим керівником		
2.	1-й розділ написання магістерської дисертації		
3.	2-й розділ написання магістерської дисертації		
4.	3-й розділ написання магістерської дисертації		
5.	4-й розділ написання магістерської дисертації		
6.	Строк подання магістерської дисертації на кафедру		
7.	Захист магістерської дисертації		

Студент

_____ (підпис)

В. С. Назарова

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

Н. С. Ремез

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків. Робота виконана в обсязі 74 сторінок, містить 10 рисунків, 22 таблиці, 23 формули.

Актуальність роботи полягає в розробці та впровадженні альтернативного джерела енергії - вітросилової установки для отримання електроенергії та добування ґрунтових вод.

Метою дослідження є удосконалення вітросилової установки для отримання електроенергії шляхом застосування її для видобутку ґрунтових вод для потреб сільського господарства.

Об'єктом дослідження є процес отримання електроенергії за допомогою вітросилової установки.

Предметом дослідження є зовнішні та внутрішні фактори впливу на ефективність роботи вітросилової установки.

Задачі дослідження:

1. Провести аналіз існуючих публікацій щодо особливостей застосування вітросилових установок різних типів.
2. Провести аналіз технологічного процесу отримання електричної та видобутку ґрунтових вод з використанням вітросилових установок.
3. Дослідити залежність ефективності роботи вітросилової установки від швидкості вітру та особливостей конструкції.
4. Провести техніко-економічне обґрунтування впровадження вітросилової установки з можливістю видобутку ґрунтових вод в сільському господарстві.

Методи дослідження: системний аналіз науково-технічної літератури; метод математичного моделювання та прогнозування; метод математичної статистики для апроксимації даних та встановлення залежностей; методи

сучасних комп'ютерних технологій обробки інформації, зокрема пакет прикладних програм MS Excel, графіко-аналітичний аналіз.

Наукова цінність полягає у встановленні залежності ефективності роботи вітросилової установки від швидкості вітру та особливостей конструкції лопатей.

Практична значимість полягає в розробленій технологічній схемі отримання електроенергії та видобутку ґрунтових вод для потреб сільськогосподарського підприємства

Проведений аналіз технологічного процесу та техніко-економічних показників роботи ВСУ; проаналізовано ефективність роботи установки; запропоновано технологічну схему роботи установки з одночасним виробленням енергії та видобутком ґрунтових вод; економічно обґрунтовано ефективність запропонованого методу; встановлена залежність ефективності роботи вітросилової установки від швидкості вітру та особливостей конструкції лопатей.

Отримані результати дослідження необхідно враховувати при виборі альтернативних джерел енергії на малих та середніх сільськогосподарських підприємствах.

Результати дисертації було опубліковано...

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВІТРОСИЛОВА УСТАНОВКА, ВІТРОЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОР, АЕРОДИНАМІКА, СТУПИЦЯ, ЛОПАТІ, ТИХОХІДНА УСТАНОВКА.

ABSTRACT

The master thesis consists of an introduction, 4 chapters, conclusions. The work is done in volume of 74 pages, contains 10 pictures, 22 table, 23 equations.

The urgency of the research is developing and implement an alternative energy source - a wind turbine plant for electricity generation and groundwater extraction.

The aim of the research is improving the wind power plant for electricity production also using it for the extraction of groundwater for agricultural purposes.

The object of the research is the process of obtaining electricity from a wind turbine turbin.

The subject of the research is external and internal factors influencing the efficiency of the wind turbine.

Research tasks:

1. Conduction an analysis of existing publications on the peculiarities of the use of various types of wind turbines.
2. Conduction an analysis of the technological process of obtaining electricity and extraction of groundwater using wind power plants.
3. Investigation the dependence of the effectiveness of the wind power plant on wind speed and design features.
4. Conducing a feasibility research on the implementation of a wind power plant with the possibility of extraction groundwater in agriculture.

The methods of research are systems analysis of scientific and technical literature, the method of mathematical simulation and prediction, the method of mathematical statistics for data approximation and establishment of relationships, the methods of the modern computer technologies of information processing, such as package of application programs MS Excel, also the graphical and analytical analysis.

The scientific value is the dependence of the effectiveness of the wind power plant on the wind speed and the design features of the blades.

The practical significance lies in the developing technological scheme of receiving electricity and extraction of groundwater for the needs of an agricultural enterprise

Research results should be taken into account choosing alternative energy sources for small and medium-sized agricultural enterprises.

KEYWORDS: WIND POWER PLANT, WIND GENERATOR, AERODYNAMICS, HUB, BLADES, SLOW-MOVING TURBINE.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	10
ВСТУП.....	11
1 АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ ТА ОБГРУНТУВАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ.....	13
1.1 Аналіз існуючих аналогів.....	13
1.2 Технічна характеристика та службове призначення системи.....	16
1.3 Техніко-економічне обґрунтування магістерської дисертації.....	19
Висновки до розділу 1.....	21
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	22
2.1 Функціональна схема роботи установки з математичною інтерпретацією фізичних перетворень.....	22
2.2 Принцип роботи приладу, призначення окремих елементів та їх взаємодія.....	33
2.3 Розрахунок основних параметрів вітросилової установки	37
2.4 Розрахунок вала на міцність.....	45
2.5 Розрахунок вала на статичну міцність.....	45
Висновки до розділу 2.....	48
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДЛЯ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІТРОСИЛОВОЇ УСТАНОВКИ.....	49
Висновки до розділу 3.....	54
4 СТАРТАП-ПРОЕКТ.....	55
4.1 Опис ідеї проекту.....	55
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	57
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	58
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	65
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проект.....	68
Висновки до розділу 4.....	71

ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ВА – вітроагрегат

ВЕГ – вітроелектрогенератор

ВЕУ – вітроенергоустановка

ВСУ – вітросилова установка

ТХУ – тихохідна установка

ХТЗ – Харківський тракторний завод

ШХУ – швидкохідна установка

ВСТУП

Актуальність роботи полягає в розробці та впровадженні альтернативного джерела енергії - вітросилової установки для отримання електроенергії та добування ґрунтових вод. Адже на даний момент енергія вітру в більшості випадків використовується лише для отримання електроенергії. Проте більшість вітросилових установок має ряд недоліків, як наприклад шум та інфразвук, які також приносять шкоду навколишньому середовищу, зокрема живим організмам. Тому застосування швидкохідних вітроелектроустановок є доволі обмеженим. А розробка безпечної установки, яка може використовуватися в сільському господарстві є актуальною науково-практичною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Магістерська дисертація виконана у Інституті енергозбереження та енергоменеджменті у відповідності з тематичним планом науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України.

Метою дослідження є удосконалення вітросилової установки для отримання електроенергії шляхом застосування її для видобутку ґрунтових вод для потреб сільського господарства

Для досягнення поставленої мети та одержання конкретних результатів дослідження було поставлено такі завдання:

1. Провести аналіз існуючих публікацій щодо особливостей застосування вітросилових установок різних типів.
2. Провести аналіз технологічного процесу отримання електричний та видобутку ґрунтових вод з використанням вітросилових установок.
3. Дослідити залежність ефективності роботи вітросилової установки від швидкості вітру та особливостей конструкції.
4. Провести техніко-економічне обґрунтування впровадження вітросилової установки з можливістю видобутку ґрунтових вод в сільському господарстві.

Об'єктом дослідження є процес отримання електроенергії та спосіб видобування ґрунтових вод за допомогою вітросилової установки.

Предметом дослідження є зовнішні та внутрішні фактори впливу на ефективність роботи вітросилової установки.

Методи дослідження. У роботі було використано систему загальнонаукових і спеціальних методів пізнання. Теоретичною і методичною основою дипломної роботи є системно-аналітичний підхід вивчення параметрів вітросилової установки та специфіки її роботи.

Для вирішення поставлених завдань у роботі було використано такі методи: системний аналіз науково-технічної літератури; метод математичного моделювання та прогнозування; метод математичної статистики для апроксимації даних та встановлення залежностей; методи сучасних комп'ютерних технологій обробки інформації, зокрема пакет прикладних програм MS Excel, графіко-аналітичний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в:

1. у встановленні математичної залежності ефективності роботи вітросилової установки від швидкості вітру та особливостей конструкції лопатей;
2. розробці методу застосування однієї установки для виконання двох задач одночасно, використовуючи лише один ресурс;
3. розробці способу енергетичної автономії сільського господарства за рахунок використання «чистої» енергії.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблена установка дозволяє підприємствам малого та середнього бізнесу в сфері сільського господарства використовувати власну енергію та не затрачати її на доставку води для обприскування та полив угідь.

1 АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

1.1 Аналіз існуючих аналогів

Запропонована вітросилова установка має багато аналогів. Серед них варто виділити вітроелектрогенератори з вертикальною та горизонтальною віссю[1].

Вітроколесо з горизонтальною віссю. Розглянемо горизонтально-осьові вітроколеса пропелерного типу. Основною обертовою силою у коліс цього типу є підйомна сила. Щодо вітру вітроколесо в робочому положенні може розташовуватись перед опорною баштою або за нею. При передньому розташуванні вітроколесо повинно бути забезпеченим аеродинамічним стабілізатором або іншим пристроєм, що утримує його в робочому положенні. При задньому розташуванні башта частково затінює вітроколесо і турбулізує потік, що набігає на нього. При роботі колеса в таких умовах виникають циклічні навантаження, підвищений шум і флуктації вихідних параметрів вітроустановки. Напрямок вітру може змінюватися досить швидко, і вітроколесо повинне чітко відстежувати ці зміни. Тому у ВЕУ потужністю більше 50 кВт для цієї мети використовуються електричні серводвигуни [2].

У вітроелектрогенераторах зазвичай використовуються дво- і трилопатеві вітроколеса, останні відрізняються дуже плавним ходом. Електрогенератор і редуктор, що сполучає його з вітроколесом, розташовані зазвичай зверху опорної башти в поворотній головці. В принципі їх зручніше розміщувати знизу, але складнощі, що виникають при цьому, з передачею крутного моменту знецінюють переваги такого розміщення. Багатолопатеві колеса, що можуть розвивати великий крутний момент, при слабкому вітрі, використовуються для перекачування води і інших цілей, що не вимагають високої частоти обертання вітрового колеса [3].

Вітроелектрогенератори з вертикальною віссю. Вітроелектрогенератори з вертикальною віссю обертання унаслідок своєї геометрії при

будь-якому напрямі вітру знаходяться в робочому положенні. Крім того, така схема дозволяє за рахунок тільки подовження валу встановити редуктор з генераторами внизу башти [4].

Принциповими недоліками таких установок є:

- 1) набагато більша схильність їх до втомних руйнувань через автоколивальні процеси, що частіше виникають в них,
- 2) пульсація крутного моменту, яка призводить до небажаних пульсацій вихідних параметрів генератора. Через це переважна більшість вітроелектрогенераторів виконується по горизонтально-осьовій схемі, проте дослідження різних типів вертикально-осьових установок продовжуються [5].

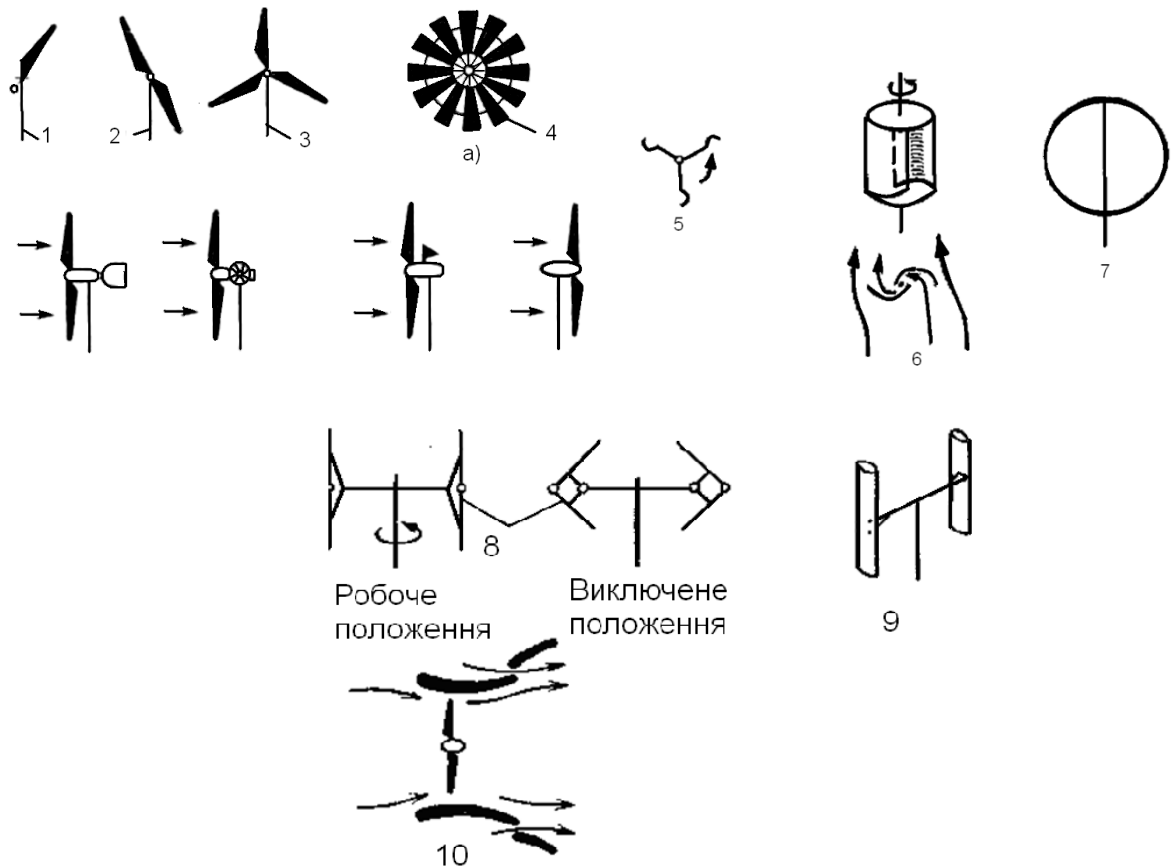
Найбільш поширені типи вертикально-осьових установок наступні (рис.1.1).

Чашковий ротор (анемометр). Вітроколесо даної установки здійснює оберти за рахунок сили опору. Форма чашоподібної лопаті забезпечує практично лінійну залежність частоти обертання колеса від швидкості вітру [6].

Ротор Савоніуса. Це колесо також обертається завдяки силі опору. Його лопаті виконані з тонких зігнутих листів прямокутної форми, тобто відрізняються простотою і невеликою вартістю. Обертальний момент створюється завдяки різному опору повітряного потоку, увігнутою і вигнутою відносно нього лопатями ротора. Через велике геометричне заповнення це вітроколесо володіє великим крутним моментом і може використовуватися для перекачування води [7].

Ротор Дар'є. Обертальний момент створюється підйомною силою, яка виникає на двох або трьох тонких зігнутих несучих поверхнях, які мають аеродинамічний профіль. Підйомна сила максимальна в той момент, коли лопать з великою швидкістю перетинає набігаючий повітряний потік. Ротор Дар'є використовується у вітроелектрогенераторах. Розкручуватися

самостійно ротор, зазвичай, не може, тому для його запуску зазвичай використовується генератор, що працює в режимі двигуна [8].



Класифікація вітроколес: з горизонтальною віссю (1-4); з вертикальною віссю (5-7); з концентраторами (підсилювачами) вітрового потоку (8-10); 1 - однолопатеве колесо; 2 - дволопатеве; 3 - трилопатеве; 4 — багато лопатеве; 5 - чашковий анемометр; 6- ротор Савоніуса; 7 — ротор Дар'є; 8 - ротор Масгрува; 9 - ротор Еванса; 10 - підсилювач потоку -
Рисунок 1.1 – Типи вітроколес

Ротор Масгрува. Лопаті цього вітроколеса в робочому стані розташовані вертикально, але мають можливість обертатися або складатися навколо горизонтальної осі при відключенні. Існують різні варіанти роторів Масгрува, але всі вони не придатні до роботи в умовах сильного вітру [9].

Ротор Еванса. Лопаті цього ротора в аварійній ситуації і при управлінні повертаються навколо вертикальної осі [10].

Концентратори. Потужність вітроенергоустановки залежить від ефективності використання енергії повітряного потоку. Одним із способів її підвищення є використання спеціальних концентраторів (підсилювачів) повітряного потоку (рис. 1.1). Для горизонтально-осьових вітроелектрогенераторів розроблені або запропоновані різні варіанти таких концентраторів. Це можуть бути дифузори або конфузори (дефлектори), що направляють на вітроколесо повітряний потік з площі, більшої за покривну площу ротора, і деякі інші пристрої [11]. Широкого розповсюдження в промислових установках концентратори на даний момент не отримали.

1.2 Технічна характеристика та службове призначення системи

Вітрова установка призначена для застосування в районах з помірним кліматом і середньорічною швидкістю вітру не менше 2,5 м/с. Перевага установки полягає у її автономності: постійної присутності чи втручання в процес роботи не потрібний.

“Ромашка” (рис. 1.2) призначена для експлуатації у теплий час року при температурі повітря не нижче 1°. Для гарантованого водозабезпечення, установку експлуатують з водяним накопичувачем – ємністю 1,5-2 м³.

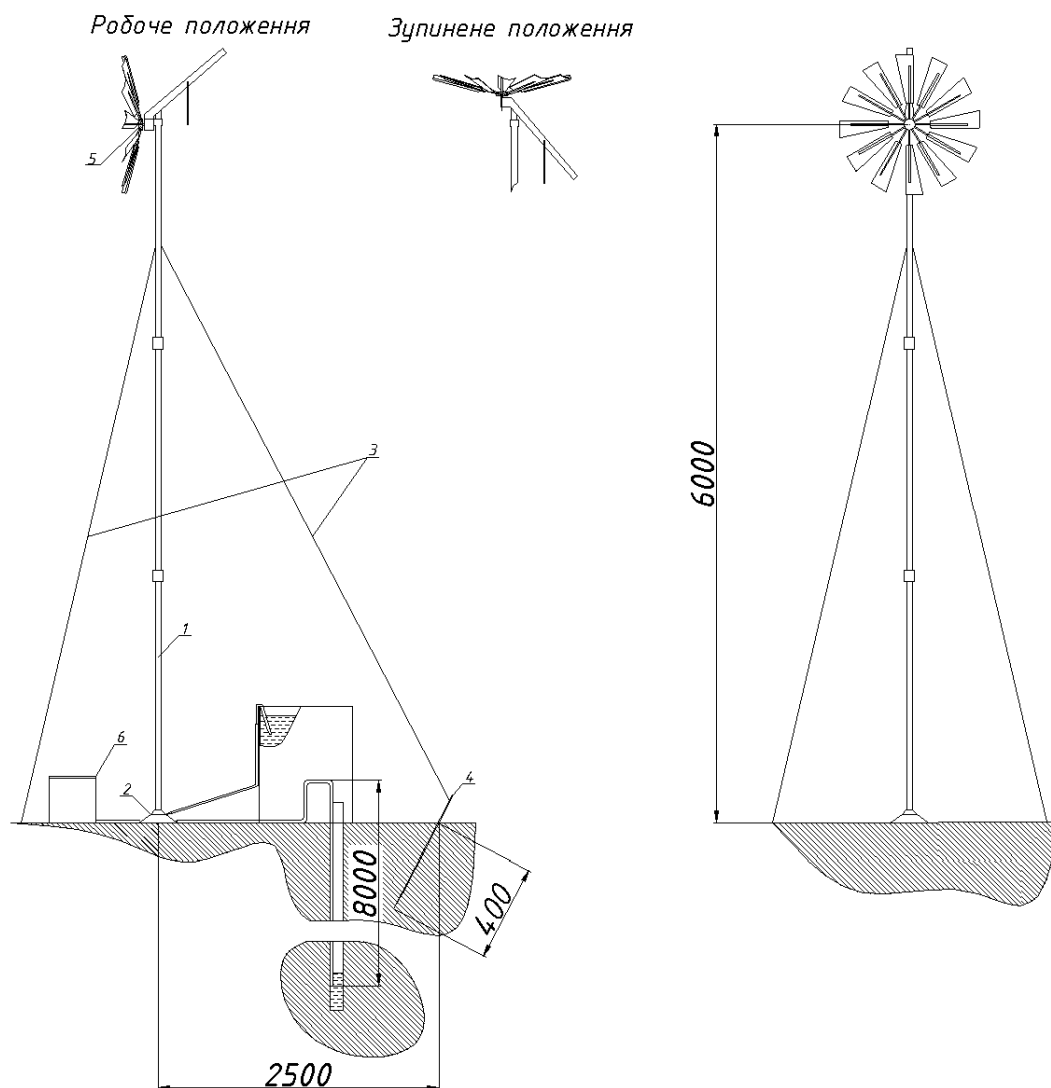


Рисунок 1.2 – Вітросилова установка типу «Ромашка»

Технічна характеристика.

Принцип дії – механічний.

Продуктивність (при швидкості вітру не менше 5 м/с і загальній висоті підйому води 10м) – 10 л/ год.

Максимальна глибина всмоктування води – 8 м.

Мінімальна робоча швидкість вітру – 2,5 м/с.

Максимальна швидкість вітру – 40 м/с.

Максимальна висота нагнітання води – 3,5 м.

Діаметр вітроколеса – 1,2 м.

Число лопатей – 12 шт.

Максимальний коефіцієнт використання енергії вітру – 0,36.

Номінальна швидкохідність вітроколеса (відношення окружної швидкості лопаті та швидкості вітру) – 1,1.

Максимальні оберти вітроколеса на холостому ході – 250 об/хв.

Висота вітрової станції до осі вітроколеса – 6 м.

Довжина всмоктувального рукава – 30 м.

Вага установки – 37 кг.

Розглянемо аналог даної установки:

Вітер виступає двигуном цієї установки, а повітряний гвинт з лопатями - рушій. На валу останнього і розташовується водяний транспортер: нескінченна стрічка з пористого матеріалу, нижня частина якої опущена у криницю. Крутиться гвинт, тягнеться вгору стрічка, піднімаючи ввібрану воду. Її відбирає віджимний валик – вода стікає по зливній трубі у відаткову ємність. Вертикальність стрічки забезпечується розміщенням, у самому низу, натяжним механізмом, який постійно заглиблений у воді.

Дволопатеви повітряний гвинт має довжину 2000 мм. Лопаті насаджені на металеву втулку з закріплювальними щітками і стяжними болтами. З'єднання втулки на валу шпоночне з затяжною гайкою [12].

Стабілізатор автоматично встановлює гвинт проти вітру. Направляюча лопатка стабілізатора вирізана з металевих листа товщиною 1 мм. Для її у несучій трубі пропилюють поздовжній паз, куди вона встановлюється і закріплюється по кінцях двома наскрізними заклепками. До труби, в самому її початку приварюють пята. Вона має два отвори під болти М8 для з'єднання з основою приводного механізму і ще одного отвору, а якому при складанні входять верхня розвальцьована частина пальця опорного ролика.

Вал гвинта встановлений у втулці стійки приводного механізму в капронових підшипниках, на кінець валу знаходиться ведучий резиновий ролик, через який перекинута стрічка-транспортер. Основа механізму повертається відносно корпусу на опорних роликах. В корпусі для цього зроблена кільцева канавка. Плата основи вирізана з металевих листа

товщиною 2 мм. У ній просвердлені отвори під палець опорних роликів, при складанні ці пальці встановлюються у дані отвори і розвальцьовуються. Ролики фіксуються проміжними шайбами. Крім цього, в центрі основи для пропуску стрічки пропиляний прямокутник. Поруч з ним приварена рамка, під вісь обойми віджимного пристрою. З однієї сторони обойми знаходиться віджимний валик, з другої, на завальцьованій основі, противага, за допомогою якої, валик прижимається до стрічки, добуваючи воду. Під ним поставлений резиновий козирок – водоприймач. Провідний механізм прикритий зверху кожухом, який може бути зроблений з листового металу [13].

Натяжний механізм відтягує стрічку вниз: для цього він обтяжений металевою шайбою вагою близько 2 кг, закріпленим в обоймі натяжного ролика болтом М10.

Стрічкою служить гумова смуга товщиною 3-4 мм, на ній наклеєний паралон товщиною 15-20 мм. Обидва шари з'єднуються на косому стику. Для стрічки може бути використана і губчата гума. Рама підіймача і розхідна ємність (бак) виготовляється з підручних матеріалів, причому висота установки повинна бути вибрана такою, щоб натяжний механізм завжди знаходився у воді [14].

Можливо виконувати ряд робіт, наприклад, поливати сільськогосподарські угіддя, звісно з працюючим вітряком, проте зручніше наповнювати воду по вінця, заповнюючи резервуар, де вона, матиме змогу підігріватись на сонці. Установку можна сміливо залишати без нагляду. Навіть якщо вода буде переповнювати резервуар, вона буде стікати назад у криницю через контрольну трубу.

Вітряний підіймач в змозі добувати 100 м³ води на добу.

1.3. Техніко-економічне обґрунтування магістерської дисертації

Економічний ефект здійснюється за рахунок модернізації вітросилової установки, тобто, замість однієї функції воно виконує дві. Установка перетворює вітрову енергію на механічну, для перекачування води, і додатково виробляє електроенергію. Використання вітрових установок для вироблення енергії є найбільш ефективним способом використання вітру. Ефективність перетворення механічної енергії в електричну в електрогенераторів складає 95 %, а втрати електричної енергії при передачі не перевищує 10 %. Представлені при цьому вимоги до частоти і напруги виробленої електроенергії залежить від особливості використання споживачем даної енергії. Ці вимоги досить жорсткі при роботі вітроустановки в рамках єдиної енергосистеми і досить м'які при використанні енергій ВЕУ в освітлювальних та нагрівальних установках. На даний час розроблено досить багато проектів вітроенергетичних установок, включаючи і генератори до них, проте в майбутньому з перетворенням вітроенергетики у самостійну галузь енергетики, без сумнівів, будуть з'являтися принципово нові конструкції ВЕУ [15].

Одним з основних показників ефективності ВЕУ є коефіцієнт використання потужності вітроколеса [16]. Оскільки підібраний генератор, буде виробляти енергію навіть при мінімальних швидкостях (2,5 м/с), такий коефіцієнт буде досить великим.

У дану магістерську дисертацію внесено модернізацію, яка не тільки збільшує область використання ВЕУ, у порівнянні з відповідним аналогом, а й є економічно вигідною установкою, оскільки удосконалена установка практично не ускладнює процес роботи, і відповідно, не ускладнює її експлуатацію, що є економічно доцільно. Варто зауважити, що для вона не потребує серйозних витрат на обслуговування, ремонт та інші роботи.

Висновки до розділу 1

1. Використання вітросилових установок є найбільш ефективним способом використання вітрової енергії. Ефективність перетворення механічної енергії в електричну в електрогенераторів складає 95%, а втрати електричної енергії при передачі не перевищують 10%.

2. У даний момент розроблено багато проектів ВЕУ, але в майбутньому, з перетворенням вітроенергетики в окрему галузь, з'являться принципово нові конструкції.

3. Конструкція ВСУ, що крім вироблення електроенергії може піднімати ґрунтові води, не лише збільшує область використання ВЕУ, а й є економічно доцільним рішенням.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Функціональна схема роботи установки з математичною інтерпретацією фізичних перетворень

Рушійною силою виступає сила вітру, яка одночасно виконує дві функції: направляє лопаті проти вітру, за допомогою стабілізатора та безпосередньо обертає вітроколесо. Обертний рух від лопатей через ступицю передається на тарілку, по якій обкочується ролик, та передає коливальні рухи важелю. Другий кінець важеля з'єднується шарніром та вертлюгом з вертикальною тягою. Тяга загвинчена до насоса. Насос має всмоктувальний рукав, за допомогою якого затягується вода до насоса, та зливний шланг, який постачає воду до споживача, або кінець зливного шлангу з'єднаний з витратною ємністю, де вода накопичується [17]. Функціональна схема роботи ВСУ типу «Ромашка» наведена на рис. 2.1.

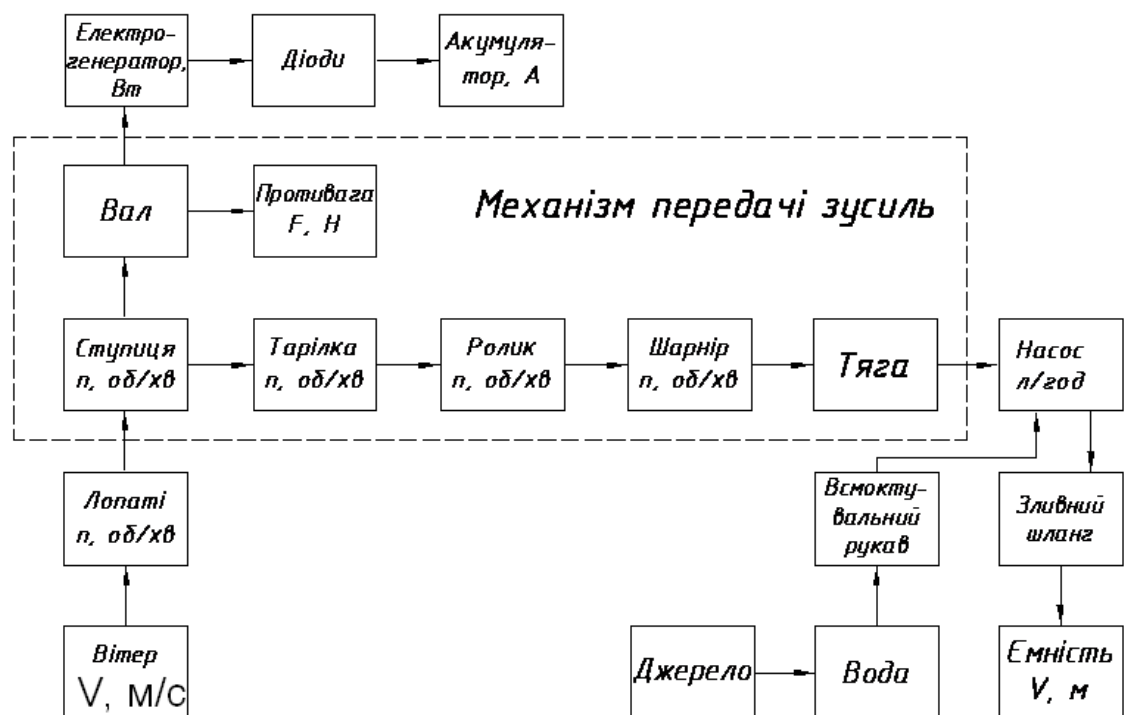


Рисунок 2.1 – Функціональна схема вітросилової установки типу «Ромашка»

При відсутності турбулентності об'єм повітря, що проходить за одиницю часу через поперечне січення вітроколеса площею A володіє кінетичною енергією що розраховується за (2.1) [18]:

$$P_0 = (1/2) \cdot (\rho A_1 \cdot u_0) \cdot u_0^2 = (1/2) \cdot \rho A_1 \cdot u_0^3 \quad (2.1)$$

де P_0 - кінетична енергія,

u – швидкість вітряного потоку,

ρ – щільність повітря.

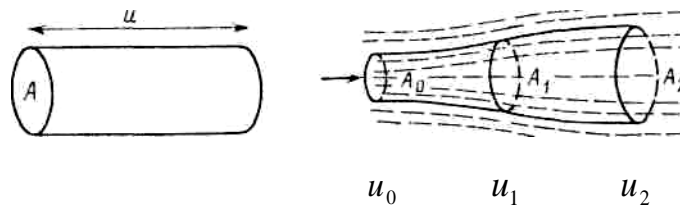


Рисунок 2.2 – Модель взаємодії вітрового потоку з вітроколесом

До розрахунку потужності вітрового потоку: маса виділеного об'єму $\rho A u$; кінетична енергія $1/2 \cdot (\rho A u) \cdot u^2$.

Тут ρ і u_0 - щільність і швидкість повітряного потоку. Таким чином, P_0 - є енергія вітрового потоку .

Щільність повітря ρ залежить від висоти і метеорологічних умов. Швидкість вітру збільшується з висотою і залежить від місцевих географічних умов та у будь-якому випадку сильно змінюється в часі. Вважатимемо швидкість u_0 і щільність ρ постійною в часі та будь-якому поперечному перерізі даного повітряного потоку [19].

У теорії вітроколеса передбачається, що лінії потоку, що проходять через нього, не терплять розриву, а саме колесо замінюється тонким проникним диском, при взаємодії з яким повітряний потік віддає йому частину енергії, в результаті тиск в потоці і його імпульс зменшуються. Крім того, в процесі взаємодії в ламінарний потік вносяться різні збурення, та ми

ними нехтуємо [20]. Така модель, не дивлячись на цілий ряд допущень, є надзвичайно корисною.

На рис. 2.2 A_1 – площа охоплена вітроколесом, A_0 та A_2 площі поперечних перерізів що проходять через вітроколесо вітрового потоку відповідно до і за ним, причому переріз A_0 розташований за межами збуреної вітроколесом області, а переріз A_2 - в місці найменшої швидкості потоку. Розміщення площі перерізів A_0 та A_2 можна визначити за результатами експериментальних вимірювань поля швидкостей навколо вітроколеса. Безпосередньо у перерізі A_1 провести такі вимірювання неможливо через обертання вітроколеса [21].

Діюча на вітроколесо сила F_1 рівна зміні кількості руху маси, що проходить через нього за одиницю часу повітря \dot{m} тобто можна розрахувати за формулою (2.2):

$$F = \dot{m} \cdot u_0 - \dot{m} \cdot u_2 \quad (2.2)$$

Ця сила діє на вітроколесо з боку, протікаючого через нього повітряного потоку, який можна вважати однорідним і таким, що має швидкість u_1 . Потужність, що розвивається цією силою, тобто потужність вітроколеса рівна можна порахувати використовуючи формулу (2.3).

$$P = F \cdot u_1 = \dot{m} \cdot (u_0 - u_2) \cdot u_1. \quad (2.3)$$

Вітроколесо на відміну від гідротурбіни обтікається практично безкінечним потоком повітря, саме тому немає можливості відвести повітря яке пройшло через вітроколесо, за межі набігаючого потоку - це деякою мірою знижує ефективність функціонування вітрових установок. Найбільше обмеження пов'язане з тим, що «відпрацьований» повітряний потік повинен

володіти певною швидкістю, щоб покинути околицю вітроколеса, не створюючи перешкод набігаючому потоку. Згідно з критерієм Бетца вітроколесо може перетворити не більше 59% енергії набігаючого потоку, але є неможливим визначення умов роботи вітроколеса, необхідних для досягнення такого енергоспоживання [22].

Ефективність перетворення вітроколесом енергії вітрового потоку буде нижча оптимальної, якщо: 1) лопаті розташовані так тісно або вітроколесо обертається так швидко, що кожна лопать рухається в потоці, турбулізованим розташованими попереду лопатями; 2) лопаті розташовані так рідко або вітроколесо обертається так повільно, що значна частина повітряного потоку проходить через поперечний переріз вітроколеса, практично не взаємодіючи з його лопатями [23].

Звідси витікає, що для досягнення максимальної ефективності частоти обертання вітроколеса, даній геометрії повинна відповідати певна швидкість вітру [24]. Взаємодія вітрового потоку з лопатями вітроколеса зображена на рис. 2.3.

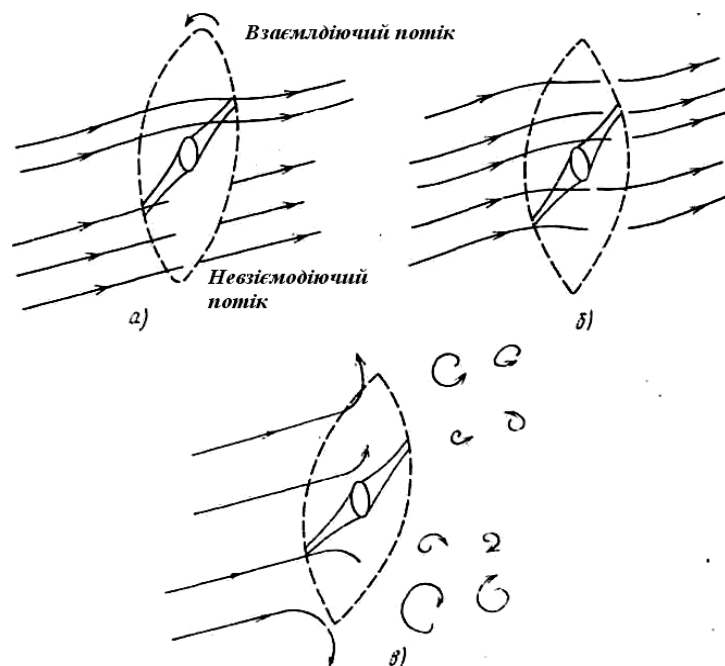


Рисунок 2.3 – Взаємодія вітрового потоку з вітроколесом при різних частотах його обертання

Ефективність роботи вітроколеса залежить від співвідношення двох характерних часів: часу τ_b , за який лопать переміщається на відстань, що відокремлює її від сусідньої лопаті, і часу τ_w , за який створювана лопаттю область сильного збурення переміститься на відстань, рівну її характерній довжині. Час τ_w залежить від розміру і форми лопатей і змінюється обернено пропорційно до швидкості вітру [25].

Характерний час τ_b для n - лопатевого вітроколеса, що обертається з кутовою швидкістю ω , розраховується за виразом (2.4):

$$\tau_b = \frac{2\pi}{n \cdot \omega} . \quad (2.4)$$

Характерний час існування на площині вітроколеса, що створюється лопаттю обурення τ_w приблизно можна визначити за формулою (2.5):

$$\tau_w = \frac{d}{u_0} \quad (2.5)$$

де u_0 — швидкість набігаючого потоку повітря,

d — характерна довжина обуреної лопатю області.

Ефективність використання вітроколесом енергії вітру максимальна, коли на кінці лопатей виконується умова $\tau_w \approx \tau_b$ або вираз (2.6):

$$n / \omega = 2\pi / d \quad (2.6)$$

Використовуючи вираз (2.7) для коефіцієнта швидкохідності:

$$Z = \frac{\text{швидкість на кінці лопаті}}{\text{швидкість вітру}} = \frac{R_\omega}{u_0} \quad (2.7)$$

Домножуючи обидві частини (2.7) на радіус вітроколеса R , отримуємо умову, що визначає максимальну ефективність його роботи у вигляді (2.8):

$$Z = \frac{2\pi}{n} \cdot (R/d) \quad (2.8)$$

Із загальних міркувань можна вважати що $d = k \cdot R$ і $k \approx 1$ тоді оптимальна швидкохідність вітроколеса розраховується за (2.9):

$$Z_0 = (2\pi / k \cdot n) \quad (2.9)$$

Практика показує, що насправді $k=1/2$, тому для n – лопатевого вітроколеса оптимальна швидкохідність може бути визначеною за (2.10):

$$Z_0 = 4\pi / n \quad (2.10)$$

Наприклад, для дванадцятилопатевого вітроколеса коефіцієнт потужності C_P максимальний при $Z_0 = 4\pi / 12 \approx 1$.

Приведені вище міркування не зовсім точні, та проте отримані з їх допомогою результати цілком достовірні. Наприклад, у вітроколеса з ретельно спрофільованими лопатями оптимальний коефіцієнт швидкохідності приблизно на третину більший, ніж той що дається формулою (2.10).

Від значення швидкохідності залежить кут атаки, під яким обтікається лопать. Умовою максимально ефективної роботи конкретного вітроколеса є забезпечення постійності оптимального для нього кута φ при будь-якій швидкості вітру [26].

При виведенні критерію Бетца не враховувалися динамічні ефекти взаємодії потоку з вітроколесом. Одним з найбільш цінних тут результатів є критерій Глауерта, що зв'язує максимальне значення коефіцієнта потужності

C_p з швидкохідністю Z . При проектуванні дуже швидкохідних коліс слід враховувати, що швидкість обтікання кінця лопатей повинна бути менше швидкості звуку (330 м/с), щоб уникнути утворення ударних хвиль що, наприклад, можливо для достатньо досконалого дванадцятилопатєвого вітроколеса при швидкості вітру близько 40 м/с [27].

Швидкохідність вітроколеса є, можливо, найважливішим для їх характеристики параметром, залежним від трьох основних змінних: радіусу охоплюваного вітроколесом кола, його кутової швидкості обертання і швидкості вітру. Як безрозмірна величина вона є основним параметром схожості при дослідженні і конструюванні вітроагрегатів [28].

Роботами Жуковського, Сабініна показано, що на відміну від ідеального вітроколеса, яке має нескінченно велике число дуже вузьких лопат, що працює без втрат і обертається з нескінченно великою частотою, реальне вітроколесо, що має кінцеве число лопатей (звичайно від 2 до 24) і кінцеву частоту обертання, працює з втратами, головними з яких є кінцеві і профільні втрати, від кручення потоку за колесом і від неповного використання всієї площі через наявність навколо втулкового простору радіусом r_o , не заповненого лопатями.

По класичній теорії Н.Е. Жуковського для ідеального вітроколеса $\xi_{\max} = 0.593$, а по теорії Г.Х. Сабініна $\xi_{\max} = 0.687$. Ця різниця викликана тим, що при визначенні осьової сили тиску потоку на вітроколесо розглядалися перетини потоку в різних місцях (перетинах): у першому випадку (по класичній теорії) — у момент утворення вихрового солєноїда (перетин *I-I*), у другому - у тій місці (перетин *II-II*), де він прийняв циліндричну форму і має площу трохи більшу, ніж поверхню, що омітається вітроколесом (рис. 2.4) [29].

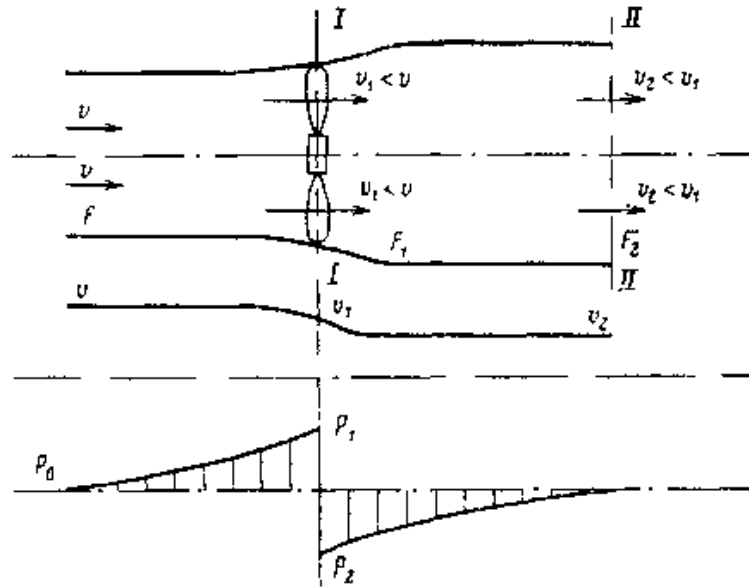


Рисунок 2.4 – Визначення коефіцієнта використання енергії вітру

По класичній теорії повна втрата швидкості потоку за вітроколесом у 2 рази більше, ніж у площині його обертання, що, у свою чергу, складає 1/3 швидкості вихідного потоку [30]. Тоді:

$$\xi = \frac{P_{\text{в}}(v_0 - v_1)}{F \frac{\rho v^3}{2}} = 2 \frac{P_{\text{в}}}{F \rho v_0^2} \cdot \frac{v_0 - v_1}{v_0}, \quad (2.11)$$

де $P_{\text{л}}$ — лобовий тиск на вітроколесо,

v_1 — швидкість потоку в площині обертання колеса,

v — швидкість перед вітроколесом,

v_0 — швидкість вихідного потоку.

Вираз $\frac{P_{\text{в}}}{F \rho v_0^2}$ називають коефіцієнтом лобового тиску і позначають літерою B . Коефіцієнт гальмування $e = v_1 / v_0$ дозволяє визначити B і ξ_{max} за

допомогою виразів (2.12) та (2.13):

$$B = 4e(1 - e), \quad (2.12)$$

$$\xi_{i,\max} = 4e(1 - e)^2 \quad (2.13)$$

Для максимального ξ_{\max} величина $B=0,888$, $e = 0,333$. По теорії Г.Х. Сабініна для $\xi_{\max} = 0,687$, маємо $B=1,172$, $e = 0,414$.

Найважливішою характеристикою вітроколеса є його швидкохідність або число модулів, які визначаються за (2.14):

$$Z = \omega R_{\text{вк}} / v, \quad (2.14)$$

де ω - кутова швидкість,

$R_{\text{вк}}$ - радіус вітроколеса, м.

Відносна швидкість потоку, що набігає на елемент лопаті розраховується за (2.15):

$$W = \sqrt{v_1^2 + (-\omega r - U_1)^2}, \quad (2.15)$$

де U_1 - реактивна швидкість від моменту, що крутить, що розвивається лопатами, що діє в напрямку, протилежному моментів, що крутить, м/с,

r - поточний радіус, на якому знаходиться розглянутий перетин крила, м [31].

Приймемо позначення: i - число лопатей, b - ширина елемента лопаті по хорді, м. Кут φ заклинювання лопатей на радіусі r , вимірюваний як кут між хордою профілю на цьому радіусі і площиною обертання визначається за формулою (2.16).

$$\varphi = \operatorname{arccctg} Z_u - \alpha, \quad (2.16)$$

де $Z_u = \operatorname{ctg} \beta$ - число відносних модулів,

α - напрямок дії вектора відносної швидкості потоку, тобто це кут між хордою перетину лопати і вектором W у цьому ж перетині.

Основними характеристиками вітроколеса є розвиваючий ним момент, потужність і частота обертання [32]. Якщо проінтегрувати момент елементарних лопатей довжиною dr у межах від R_0 до R , то одержимо повний момент, що розвивається вітроколесом і описується виразом (2.17).

$$M = \int_{r_0}^{R_{\hat{a}\hat{e}}} dM = \int_{r_0}^{R_{\hat{a}\hat{e}}} 4\pi r^2 \rho \frac{e}{1+e} v^2 \frac{1-\mu Z_u}{Z_u + \mu} dr. \quad (2.17)$$

Момент зручно виражати у відносних величинах, як у виразі (2.18):

$$M = \frac{M}{\pi R_{\hat{a}\hat{e}}^3 \rho \frac{v^2}{2}} = \int_{r_0}^{\bar{R}_{\hat{a}\hat{e}}} 8 \frac{e}{e+1} \frac{1-\mu Z_u}{Z_u + \mu} \bar{r}^2 d\bar{r}, \quad (2.18)$$

де $\bar{r} = r / R_{\text{вк}}$ - відносний радіус.

Зневажаючи крутінням струменя і вважаючи величину e постійною по радіусі, одержуємо рівняння (2.19)

$$\bar{M} = \frac{4e}{Z} \frac{1-e}{1+e} \left[\left(1 - \frac{r_0^2}{R_{\hat{a}\hat{e}}} \right) - 2\mu \left(\frac{Z_u}{3} + \frac{1 - \frac{r_0^2}{R_{\hat{a}\hat{e}}}}{Z_u} - \frac{1 - \frac{r_0^2}{R_{\hat{a}\hat{e}}}}{2} \right) \right]. \quad (2.19)$$

Так як $M = \bar{M} \pi R_{\text{вк}}^3 \rho v^2 / 2$, а $\omega = Zv / R_{\text{вк}}$, то потужність, що розвивається вітроколесом, Дж/с, то можна записати наступний вираз (2.20)

$$P_{\hat{a}\hat{e}} = M \omega = \bar{M} \pi R_{\hat{a}\hat{e}}^3 \frac{\rho v^2}{2} \omega = \bar{M} \pi R_{\hat{a}\hat{e}}^2 \rho \frac{v^3}{2} Z. \quad (2.20)$$

У кращих швидкохідних вітроколіс значення ξ_{\max} доходить до 0.45–0.48, а в тихохідних — $\xi_{\max} = 0.35 \dots 0.38$.

З розгляду характеристик вітроколіс різної швидкохідності, а також результатів теоретичних і експериментальних досліджень видно, що чим більше число лопат, їхня ширина і кут заклинювання, тим при інших однакових умовах нижче швидкохідність вітроколеса і величина Z_0 , вище значення M_0 , крива $M=f(z)$ має круто падаючу форму. У швидкохідних коліс величина M_0 у кілька разів менше $M_{\text{ном}}$, а синхронна швидкохідність приблизно в 2 – 2,5 рази вище нормальної [33].

За інших рівних умов потужність вітроколеса мало залежить від числа лопатей і коефіцієнта заповнення $k_{\text{зан}} = S / F$, представляє собою відношення суми площ лопатей до площі, що змітається вітроколесом поверхні. Основний вплив роблять форма і профіль лопатей, їхнє положення в потоці і діаметр колеса. При постійній аеродинамічній схемі частота його обертання пропорційна швидкохідності і швидкості вітру і обернено пропорційна діаметрові [34].

Зниження величини щодо початкового моменту відбувається більш інтенсивно, чим ріст швидкохідності. Так, при збільшенні $Z_{\text{ном}}$ у 2 рази M_0 знижується в 6 – разів [35].

При розрахунку і конструюванні принципів і кінематичних схем вітрогенераторів особливості аеродинамічних параметрів і характеристик вітроколес і навантажувальних характеристик робочої машини враховуються в першу чергу (рис. 2.5).

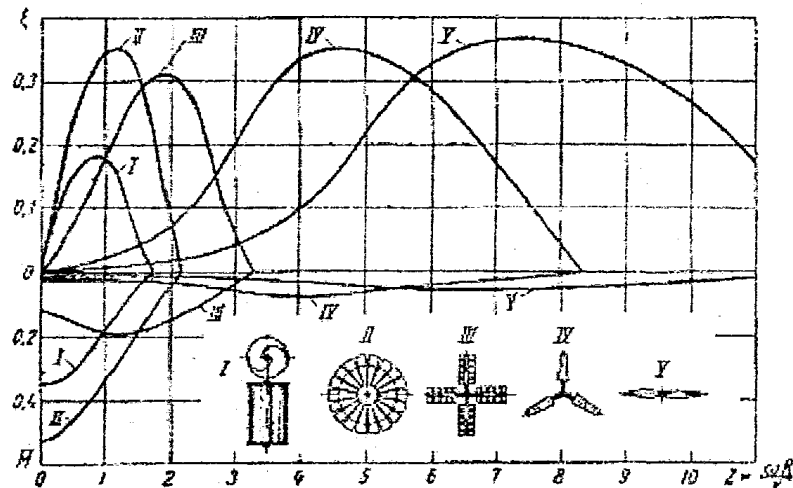


Рисунок 2.5 – Аеродинамічні характеристики вітрових коліс:

I – роторного; II – крильчатого багатолопатевого; III – вітрового млина; IV – трьохлопатевого; V – двохлапатевого

Наприклад, для приводу щодо тихохідного насоса, зокрема поршневого, котрий має великий початковий момент опору (він у 3,14 рази більше середнього), краще застосувати тихохідне колесо. Це знизить величину мінімальних робочих швидкостей вітру v_0 , зменшить передатне відношення механізму приводу до насоса і механічні втрати. Час роботи агрегату зросте, а простої в періоди так званих енергетичних штилів будуть менш тривалими. Правда, у порівнянні зі швидкохідним колесом величина ξ_{max} також знизиться, однак, як правило, переваги використання в аналогічних випадках вітроколес з швидкохідністю $Z_{ном} = 1,5 \dots 3$ більш вагомими, чим утрати. З іншого боку, для агрегування з генератором осьовою турбіною або відцентровим насосом, для яких характерні висока частота обертання, малий

початковий момент опорів, а також плавна його зміна, більш ефективним є використання швидкохідного колеса ($Z_{ном} = 5 \dots 8$).

Щоб поліпшити пускові і робочі характеристики агрегатів, відомий ряд методів (відключення навантаження на період розгону вітроколеса, застосування різних муфт, безступінчастих передач, аеродинамічних пристроїв і ін.). Починаючи з кінця 60-х років, у швидкохідних агрегатах почали більш широко застосовувати автоматичні системи керування поворотом лопат, що забезпечують одержання ефекту тихохідного вітроколеса в пускових режимах, а швидкохідного - на робочій ділянці аеродинамічної характеристики. Це істотно підвищило економічність вітроенергетичного агрегату [36].

2.2 Принцип роботи приладу, призначення окремих елементів та їх взаємодія

“Ромашка” – вітродвигун, в опорі якого змонтований насос. Трубчаста стійка кріпиться за допомогою шістьох дріт'яних розтяжок та трьох забивних анкерів.

Вітродвигун – багатолопатевиий, тихохідний. Його двох- чи трьохсекційна стійка може бути висотою 4 або 6 м. У верхній частині розташована головка з 12-лопатевиим вітроколесом, яке має три ступня свободи. При змінні напрямку вітру воно автоматично самовстановлюється з підвітряної сторони опори завдяки повороту головки. Для ефективного самовстановлення вітрового колеса і стабілізації його у вітровому потоці, а також для розвантаження від згинального моменту осі лопатей нахилені до осі вітроколеса і створюють з нею кут у 75° [36].

Щоб зменшити лобовий тиск повітряного потоку і видалити вплив гіроскопічних зусиль при різких бічних поривах вітру, вітроколесо закріплено на коромислі, яке здатне повертатись відносно горизонтальної осі, перпендикулярній осі обертання і віссю опори, яка пересікається. Таким

чином, під впливом сильного вітру колесо, якби спливає у повітряному потоці. При цьому момент від сил лобового тиску на лопаті (відносно горизонтальної осі повороту коромисла) врівноважується ваговим моментом, рівним $0,2 - 0,3$ кГм, цим забезпечується початок відхилення вітроколеса від початкового положення при швидкості вітру $5-6$ м/с. Для компенсації частині ваги колеса коромисло з невітряної сторони обладнано противагою, у отвір якої встановлено дротяну петлю. Остання служить для зупинки вітрової установки: достатньо невеликим шестом з крюком на кінці, зачепивши його на петлю, перевести вісь колеса в вертикальне положення.

Лопаті представляють собою лопатку із заклепаним до неї сталевим термообробленим стержнем. Лопатка – трапецеподібка у плані, відштампована з дюралюмінієвого листа сталі марки Д16 чи Мг6 товщиною $1,2$ мм; профіль – дужка постійного радіусу. Для жорсткості виконаний Т-подібний зиг. Вісь стержня проходить паралельно передній кромці, чим забезпечується геометрична прокрутка лопаті на 18° . Нахильна лиска на кінці стержня забезпечує однакове кутове положення лопаті у маточині вітроколеса (кут установлення рівний 23° на кінці і 45° в комлі), лиска сприяє самозатягуванню лопаті відцентровими силами при ослабленні закріплювальних болтів (тим не менше болти після затяжки потрібно контрити дротом чи відгінними шайбами). Маса окремої лопаті – не менше 400 г, а різниця мас не більшою $5-10$ г [37].

Насос – самовсмоктуючий, з горизонтальною проточною гумовою діафрагмою, має три порожнини. Приймальна порожнина з'єднана з всмоктувальним рукавом, піддіафрагменна порожнина з'єднана з приймальною через шість отворів, перекритих всмоктувальним клапаном, поверхдіафрагменна порожнина знизу з'єднується з піддіафрагменною, також за допомогою шістьох отворів, перекритих нагнітальним клапаном, а зверху з зливним шлангом і з порожниною опори вітродвигуна. Останнє захищає вітрову установку від випадкового пережиму шлангу.

Діафрагма по периферії стиснута між верхнім і нижнім корпусом насоса шістьма болтами, а по центрі – між верхньою та нижньою тарілками в отворах за допомогою трьох гвинтів. У верхній тарілці запресована вісь насоса, у якій загвинчується тяга вітродвигуна. На вісі є проточка, на яку закріплений пластинчастий нагнітальний клапан. Зворотна пружина з зусиллям 5-10 кг через верхню тарілку піджимає діафрагму забезпечуючи її повернення і силове замкнення механізму передачі вітродвигуна [36].

Всмоктувальний рукав – поліетиленова (поліпропіленова) труба завдовжки 10-30 м з внутрішнім діаметром 20 мм і товщиною стінок 2 мм, що дозволяє запобігти його стиску атмосферним тиском при розрідженні у насосі. Кінець рукава забезпечений приймальним сітковим фільтром з коміркою 1-1,5 мм.

Щоб запобігти газовиділенню з води (кавітації) при великих глибинах всмоктування, приймальна порожнина оснащена компенсаційною коміркою (кільцева проточка у нижньому корпусі). Піддіафрагменна порожнина насоса виконана з можливим меншим об'ємом, що дозволяє збільшити ступінь розрідження і всмоктувати воду з глибини 8,5 м. Поздовжній шліцевий паз шириною і глибиною 2-3 мм на нижній тарілці зі сторони клапана запобігає зрив клапану при малих зазорах між всмоктувальним клапаном та нижньою тарілкою діафрагми.

Електрична енергія виробляється за допомогою генератора, який під'єднаний до валу установки. Генератор не потребує постійних обертів, тому він ідеально підходить для установок невеликої потужності. Струм вироблений генератором проходить через трифазний випрямляч, що використовується для живлення потужних промислових установок, щоб уникнути несиметричного навантаження на мережу електропостачання. Далі напруга стабілізується контролером заряду і заряджає акумулятор [38].

Для живлення побутових приладів встановлюється інвертор.

Особливості експлуатації установки. Перед настанням заморозків установку необхідно зупинити. “Ромашка” монтується силами двох людей на

відкритій місцевості, так щоб відстань від вітроколеса та найближчої перепони (дерево, стовп) було не менше 20-25 м. Всмоктування води залежить від довжини всмоктувального рукава і висоти підйому води, проте не повинно перевищувати 15-20 м. Верхню точку всмоктувального рукава слід розташовувати по можливості нижче.

Встановлюють установку на щільно втрамбованому ґрунті, на тверду поверхню чи на підставку. Анкер забивають не ближче ніж 2,5-3 м від вітрової установки, рівномірно, по колу, на глибину 400-800 мм. На слабкому ґрунті (пісок, торф) замість анкерів ставлять якорі (пластини площиною не менше 0,06 м²), на глибину 500-1000 мм.

Перед підйомом установки, розтяжки завчасно чіпляють за фланці опори і за отвори у забитих анкерах, потім стійку з вітроколесом піднімають і ставлять у вертикальне положення, при цьому нижня частина опори (насос) підводиться в центр площадки. Залишається лише обрати натяг розтяжок і закріпити їх. Натяг верхнього ярусу розтяжок забезпечується забиванням додаткових анкерів; нижній – страховий ярус може злегка провисати.

Перед першим запуском слід залити в насос через зливний шланг 1-2 л води – змочити і герметизувати насос. При силі вітру 2,5-3 м/с через декілька хвилин після запуску почне подаватись вода.

Під час роботи установки може лунає стукіт у кулачково-важільному механізмі, інколи ускладнений запуск вітроколеса. Ці перешкоди усуваються за допомогою регулювання довжини тяги вітродвигуна: нагвинчуванням (розгвинчуванням) вертлюга на верхньому різьбовому кінці тяги.

Регулювання слід виконати до підйому установки, причому діафрагма насоса не повинна доходити до крайнього нижнього положення на 2-3 мм при відхиленні коромисла з вітроколесом на 45° від початкового положення. Після регулювання тягу потрібно надійно законтрити, щоб запобігти само відгвинчуванню.

2.3. Розрахунок основних параметрів вітросилової установки

1. Вихідні дані:

середньорічна швидкість вітру, м/с – 2,5;

номінальна (розрахункова) швидкість вітру, м/с – 10;

діаметр ротора – 1,2;

кількість лопатей, шт – 12;

максимальна швидкість вітру, м – 40.

2. Основні характеристики:

2.1. Вибираємо для ротора профіль NACA – 230. Для даного профілю приймаємо орієнтований коефіцієнт швидкохідності $z = 1$.

2.2. Потужність ротора визначаємо за залежністю діаметра від швидкості вітру і охоплюваної площі, тобто розраховуємо за формулою (2.21)

$$N = \xi \rho S \frac{U^3}{2}, \quad (2.21)$$

де ξ – коефіцієнт використання енергії вітру (для дванадцятилопатевої установки з вказаним профілем, $\xi = 0,36$);

ρ – густина повітря, $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$;

U – номінальна швидкість вітру, м/с;

S – охоплювана площа вітру, м^2 .

Для горизонтально-осьових машин визначається за виразом (2.22)

$$S = \pi \frac{D^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (2.22)$$

Спрощена функція має вигляд виразу (2.23):

$$N = \xi D^2 \frac{U^3}{2080}, \text{ (кВт)} \quad (2.23)$$

$$\text{Звідси: } N = 0,36 \cdot 1,2^2 \frac{5^3}{2080} = 0,250 \text{ (кВт)}$$

2.3. Визначаємо величину номінальної кутової швидкості:

$$\omega = \frac{zU}{R} = \frac{1 \cdot 5}{1,2} = 4,2 \text{ м/с.}$$

2.4. Визначаємо швидкості на кінцях лопатей.

Згідно з принциповою схемою розміщення лопатей вітроколеса і вихідних даних номінальна (розрахункова) швидкість вітру рівна 5 м/с, тоді

$$U' = \frac{2U}{3} = \frac{2 \cdot 5}{3} = 3,33 \text{ м/с.}$$

Згідно рис. 2.3 визначаємо:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{V}{U'} = \frac{3V}{2U} = \frac{3 \cdot 40}{2 \cdot 5} = 12,$$

тоді $\beta = 85,2^\circ$ і $\cos \beta = 0,073$.

Результуюча швидкість рівна:

$$W = \sqrt{U^2 + V^2} = U \sqrt{\left(\frac{U'}{U}\right)^2 + \left(\frac{V}{U}\right)^2} = 5 \cdot \sqrt{\left(\frac{3,33}{5}\right)^2 + \left(\frac{40}{5}\right)^2} = 40,14 \text{ м/с}$$

2.5. Визначаємо дійсний діаметр.

Відстань між крилами складає:

$$a = \frac{\pi^2}{i} = \frac{3,14 \cdot 1,2}{12} = 0,314 \text{ м},$$

а ширина повітряної порожнини:

$$b = a \cos \beta = 0,314 \cdot 0,073 = 0,023 \text{ м}.$$

Тоді діаметр рівний:

$$D' = D + \frac{b}{2} = 1,2 + 0,0115 = 1,2115 \text{ м}.$$

Довжина кола складає:

$$L = \pi D = 3,14 \cdot 1,2115 = 3,8 \text{ м}.$$

Тоді кутова швидкість рівна:

$$\omega' = \frac{2V}{D'} = \frac{2 \cdot 40}{1,2115} = 66,03 \text{ м/с},$$

а число обертів вітроколеса

$$n = \frac{30\omega'}{\pi} = \frac{30 \cdot 66,03}{3,14} = 630,85 \text{ об/хв}.$$

2.6. Розрахуємо ширину крил на 2/3 радіуса.

На $2/3$ радіуса визначимо:

$$L_{\frac{2}{3}} = \frac{2}{3} \pi D' = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,2115}{3} = 2,53 \text{ м};$$

$$\left(\frac{V}{U}\right)_{\frac{2}{3}} = \frac{2}{3} z = \frac{2 \cdot 1}{3} = 0,66;$$

$$\left(\frac{W}{U}\right)_{\frac{2}{3}} = \sqrt{\left(\frac{U'}{U}\right)^2 + \left(\frac{V}{U}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{3,33}{5}\right)^2 + 0,66^2} = 0,8978.$$

Для вибраного профілю НАСА – 230 кут атаки $\alpha = 1,5^\circ$, $C_y = 0,7$.

Найбільш сприятлива ширина крила рівна:

$$t' = \frac{2\pi R}{i} \cdot \frac{8}{9C_y} \cdot \left(\frac{U}{V}\right)_{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{U}{W}\right)_{\frac{2}{3}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,6058}{12} \cdot \frac{8}{9 \cdot 0,7} \cdot \frac{1}{0,66} \cdot \frac{1}{0,8978} = 0,68 \text{ м}.$$

2.7. Визначаємо положення крил на $2/3$ радіуса.

На $2/3$ радіуса

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{V}{U'} = \frac{3V}{2U} = \frac{3 \cdot 0,66}{2} = 1.$$

Тоді кут $\beta = 45^\circ$, кут атаки $\alpha = 1,5^\circ$.

А положення крила визначається як:

$$\alpha + \beta = 46,5^\circ.$$

2.8. Здійснюємо розрахунок ширини крил і визначаємо положення крила на зовнішньому кінці.

Визначаємо довжину кола:

$$2\pi R = \pi D' = 3,804 \text{ м.}$$

Тоді

$$\frac{V}{U} = 1 \quad \text{і} \quad \frac{W}{U} \sqrt{\left(\frac{U'}{U}\right)^2 + \left(\frac{V}{U}\right)^2} = 1,2$$

Припустимо, що на цьому відрізку профілю кут атаки рівний $\alpha = 1,5^\circ$, коефіцієнт підйомної сили – $C_y = 0,7$. Тоді найбільш сприятлива ширина крила складе,

$$t'' = \frac{2\pi R}{i} \cdot \frac{8}{9C_y} \cdot \left(\frac{U}{V}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{U}{W}\right)^{\frac{2}{3}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,6058}{12} \cdot \frac{8}{9 \cdot 0,7} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{1}{1,2} = 0,34 \text{ м.}$$

При цьому

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{V}{U'} = \frac{3V}{2U} = \frac{3 \cdot 40}{2 \cdot 5} = 12 \quad \text{і} \quad \beta = 85,2^\circ,$$

Положення крила визначається кутом:

$$\alpha + \beta = 1,5 + 85,2 = 86,7^\circ.$$

2.9. Здійснюємо розрахунок ширини крил на внутрішньому кінці.

На відстані $1/3$:

$$2\pi R = \frac{1}{3} \pi D = \frac{1 \cdot 3,14 \cdot 1,2115}{3} = 0,53 \text{ м.}$$

Визначаємо:

$$\left(\frac{V}{U}\right)_{\frac{1}{3}} = \frac{1}{3} \cdot 1 = 0,33;$$

$$\left(\frac{W}{U}\right) = \sqrt{\left(\frac{U'}{U}\right)^2 + \left(\frac{V}{U}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{3,33}{5}\right)^2 + 0,33^2} = 0,74.$$

Профіль лопаті залишається попереднім, кут атаки рівний $\alpha = 1,5^0$, і $C_y = 0,7$.

Тоді найбільш сприятлива ширина крила складає:

$$t''' = \frac{2\pi R}{i} \cdot \frac{8}{9C_y} \cdot \left(\frac{U}{V}\right)_{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{U}{W}\right)_{\frac{1}{3}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,6058}{12} \cdot \frac{8}{9 \cdot 0,7} \cdot \frac{1}{0,33} \cdot \frac{1}{0,74} = 1,65 \text{ м.}$$

При цьому

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{V}{U'} = \frac{3V}{2U} = \frac{3 \cdot 1,65}{2} = 2,48 \text{ і } \beta = 68^0,$$

Положення крила визначається кутом,

$$\alpha + \beta = 1,5 + 68 = 69,5^0.$$

2.10. Визначаємо середній коефіцієнт корисної дії крила на $2/3$ радіуса:

$$\frac{V}{U'} = 1.$$

Профіль лопаті залишається попереднім, кут атаки рівний $\alpha = 1,5^0$, і $C_y = 0,7$, $C_x = 0,01$.

Тоді середній коефіцієнт корисної дії крила на $2/3$ радіуса рівний:

$$\varepsilon = \frac{C_x}{C_y} = \frac{0,01}{0,7} = 0,014.$$

2.11. Визначаємо коефіцієнт корисної дії на зовнішніх кінцях крил:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{V}{U'} = 12.$$

Профіль лопаті залишається попереднім, кут атаки рівний $\alpha = 1,5^0$, і $C_y = 0,7$, $C_x = 0,01$.

Тоді середній коефіцієнт корисної дії крила на $2/3$ радіуса рівний:

$$\varepsilon = \frac{C_x}{C_y} = \frac{0,01}{0,7} = 0,014 \quad \text{і} \quad \varepsilon' = 0.$$

Відповідно

$$\varepsilon = \varepsilon + \varepsilon' = 0,014.$$

В початкових розрахунках коефіцієнт корисної дії приймається рівним $\eta_F = 0,9$. Уточнене значення коефіцієнта корисної дії на зовнішньому кінці крил визначається за формулою:

$$\eta_F = \frac{1 - \varepsilon \operatorname{tg} \beta}{1 + \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \beta}} = \frac{1 - 0,014 \cdot 12}{1 + \frac{0,014}{12}} = 0,83.$$

2.12. Визначаємо коефіцієнт корисної дії на внутрішній частині крил.
Визначаємо коефіцієнт моменту:

$$\operatorname{tg} \beta = 2,48.$$

Профіль лопаті залишається попереднім, кут атаки рівний $\alpha = 1,5^\circ$, і $C_y = 0,7$, $C_x = 0,01$.

Тоді середній коефіцієнт корисної дії крила на $2/3$ радіуса рівний:

$$\varepsilon = \frac{C_x}{C_y} = \frac{0,01}{0,7} = 0,014 \text{ і } \varepsilon' = 0.$$

Відповідно

$$\varepsilon = \varepsilon + \varepsilon' = 0,014.$$

В початкових розрахунках коефіцієнт корисної дії приймається рівним $\eta_F = 0,9$. Уточнене значення коефіцієнта корисної дії на зовнішньому кінці крил визначається за формулою:

$$\eta_F = \frac{1 - \varepsilon \operatorname{tg} \beta}{1 + \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \beta}} = \frac{1 - 0,014 \cdot 2,48}{1 + \frac{0,014}{2,48}} 0,965 = 0,96.$$

2.4 Розрахунок вала на міцність

Вихідні дані:

Потужність $N=0,25$ кВт;

Частота обертання $n=630,85$ об/хв;

Максимальна швидкість потоку $U=40$ м/с;

Дванадцять лопатей з дюралюмінія;

Для вала матеріал: Д 16.

$$\sigma_T=410 \text{ МПа}; \sigma_B=270 \text{ МПа}.$$

Оскільки в перерізі діють згинаючий і крутний моменти, то приймаємо занижене значення допустимих напружень:

$$[\tau] = 42 \text{ МПа}.$$

2.5 Розрахунок вала на статичну міцність

З умови міцності при скручуванні знаходимо орієнтовно мінімальний діаметр вала:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 0,09}{3,14 \cdot 48 \cdot 10^6}} = 4,6 \text{ мм},$$

де

$$T = 9550 \frac{N}{n} = 9550 \cdot \frac{0,03}{630,85} = 0,45 \text{ Н},$$

Враховуючи, що на вал також діють згинаючі моменти, з конструктивних міркувань приймаємо розрахунковий діаметр вала рівним $d=10$ мм.

Діюча осьова сила:

$$P_2 = B\rho\pi\frac{R^2}{2}U^2 = 1 \cdot 1,25 \cdot 3,14 \cdot \frac{0,6^2}{2} 40^2 = 1130,4H$$

де $B=1$.

Крутний момент однаковий по довжині вала, а на опорі 1 згинаючий момент максимальний, тому розрахунок на статичну міцність проводимо в перерізі 1.

Напруження від стиснення:

$$\sigma_c = \frac{4F_2}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 1130,4}{3,14 \cdot 0,01^2} = 14,4MPa.$$

Напруження від кручення:

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{16 \cdot 0,45}{3,14 \cdot 0,01^3} = 2,3MPa$$

Знаходимо еквівалентне напруження:

$$\sigma_E = \sqrt{(\sigma_{\text{зг}} + \sigma_c)^2 + 4\tau^2} = \sqrt{(14,4)^2 + 4 \cdot 2,3^2} = 15,1MPa$$

Максимальне еквівалентне напруження при короткочасних перенапруженнях:

$$\sigma_{E \max} = \sigma_E K_n = 15,1 \cdot 2 = 30,2 \text{ МПа.}$$

Допустиме еквівалентне напруження:

$$[\sigma_E] = 0,8 \sigma_T = 0,8 \cdot 410 = 328 \text{ МПа.}$$

Умова статичної міцності виконується, оскільки:

$$\sigma_{E \max} = 30,2 < [\sigma_E] = 328 \text{ МПа.}$$

Висновки до розділу 2

1. Для ВСУ типу «Ромашка» рушійною силою виступає сила вітру, яка одночасно виконує дві функції: направляє лопаті проти вітру, за допомогою стабілізатора та безпосередньо обертає вітроколесо. Обертовий рух від лопатей через ступицю передається на тарілку, по якій обкочується ролик, та передає коливальні рухи важелеві. Другий кінець важеля з'єднується шарніром та вертлюгом з вертикальною тягою. Тяга загвинчена до насоса. Насос має всмоктувальний рукав, за допомогою якого зтягується вода до насоса, та зливний шланг, який постачає воду до споживача, або кінець зливного шлангу з'єднаний з витратною ємністю, де вода накопичується.

2. Швидкохідність вітроколеса є найважливішим параметром, залежним від трьох змінних – радіусу охоплюваного вітроколесом кола, його кутової швидкості обертання і швидкості вітру.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДЛЯ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІТРОСИЛОВОЇ УСТАНОВКИ

Рішення завдання вибору режиму роботи ВЕУ знаходиться на основі варіації розрахунків, при цьому критерієм оптимальності служить найбільша кількість виробленої енергії за певний період. Обраний таким чином режим називається найкращим аеродинамічним режимом [39].

Для дослідження аеродинамічних характеристик і обґрунтування форми та кількості лопатей була розроблена лабораторно-польова установка (рис. 3.1). У ході польових випробувань на ободі вітроколеса встановлювалися лопаті з різними профілями, а також варіювалася кількість лопатей від 3 до 12. Основою для монтажу лопатей був обід вітроколеса двомодульної установки ВЕУ-5Т-2М. На одному вітроколесі були змонтовані три лопаті нової форми, а на іншому - 3 лопаті установки ВЕУ-5Т-2М. Експерименти, для визначення залежності робочих характеристик установки від коефіцієнта заповнення, здійснювалися також на основі установки ВЕУ-5Т-2М. Для цього на одному колесі були змонтовані всі 12 лопатей, а на іншому колесі змонтовані 3 лопаті, потім 4, 6, 12 лопатей .



Рисунок 3.1 – Фрагменти дослідження

Метеодані отримані від метеостанції Weather Wizard III, встановленої на одній висоті з віссю вітроколеса. Значення вимірюваних даних усереднювалися з часом дискретизації 10 секунд.

На вихідному валі вітроколеса замірялися при різних швидкостях вітру значення крутного моменту і частоти обертання, які записувалися на діаграмну стрічку самописця. Для синхронізації отриманих даних за часом, на діаграмній стрічці фіксувався час початку і кінця кожного експерименту з вбудованим годинах метеостанції Weather Wizard III. Отримані дані були згруповані за швидкостями вітру з кроком 0,5 м/с, після обробки даних, отримані залежності крутного моменту і частоти обертання вітроколеса з різною кількістю лопатей від швидкості вітру (рис. 3.2). Як показали результати експерименту 12-лопатеve колесо рушає при швидкості вітру 1,8 м/с, збудження генератора починається при 2,8 м/с. Колесо з 6 лопатями рушає при 2,8 м/с, з 3,1 м/с починав працювати генератор. З 3 лопатями ці значення були відповідно 3,2 м/с та 5,2 м/с [40].

Використана енергія вітру залежить від трьох основних параметрів, які називаються базовими швидкостями вітру: мінімальна швидкість вітру (v_0), при якій ВЕУ починає вироблення енергії; розрахункова швидкість (v_p), при якій ВЕУ виходить на розрахунковий режим і розвиває номінальну потужність; максимальна швидкість вітру (v_{max}). Швидкість вище максимальної стає критичною для вітроустановки [41].

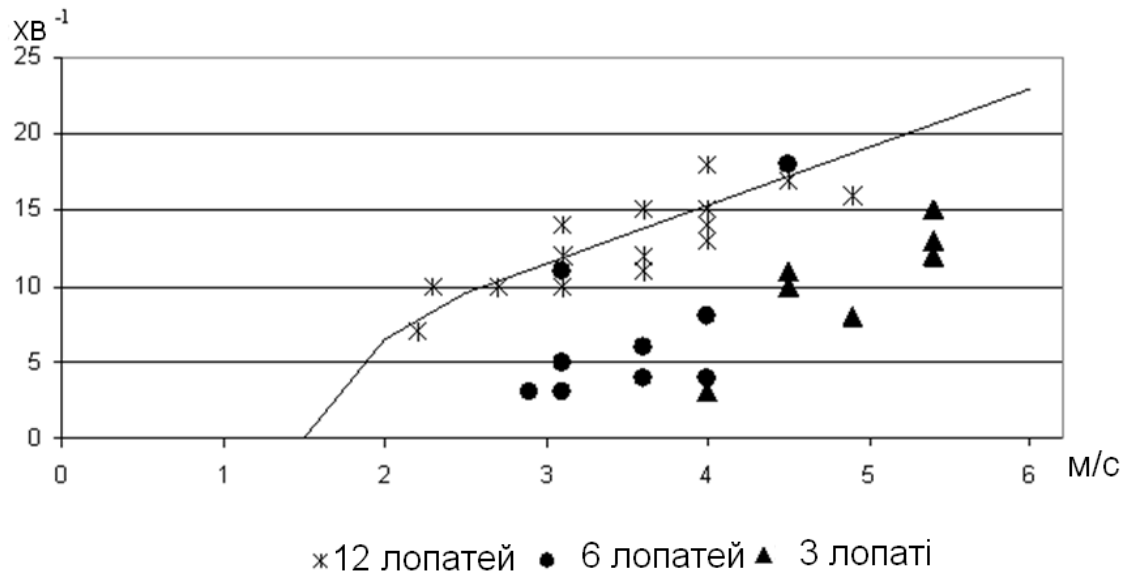


Рисунок 3.2 – Залежність частоти обертання вітроколеса від швидкості вітру

На базі обробки експериментальних даних було отримано аналітичні залежності частоти обертання лопатей вітроагрегату від швидкості вітру у вигляді поліному 5-ого ступеню:

$$y = -0,0251x^5 + 0,2943x^4 - 0,3122x^3 - 7,7149x^2 + 36,679x - 37,905,$$

$$R^2 = 1.$$

Для обґрунтування параметрів електричної частини, проведені лабораторні дослідження режимів роботи генератора, інвертора, акумуляторних батарей і навантаження. Отримані в ході експериментів дані оброблено і побудовані швидкісні характеристики генератора при різних значеннях навантаження, а також зовнішні характеристики генератора при різних значеннях частоти обертання [42]. На рис. 3.3 наведені швидкісні характеристики генератора ВГ-5.

Для обґрунтування раціональних параметрів, що забезпечують узгоджену роботу механічної та електричної частин установки, були поєднані, отримані в ході експериментів, швидкісні характеристики

генератора і розрахункові вихідні характеристики вітроколеса. За результатами цих досліджень, обґрунтовано параметри макетного зразка ВЕУ: висота щогли - 9 ... 12 м, тип вітроколеса - швидкохідний, профіль лопаті - аеродинамічний, діаметр тип вітроколеса - 8 м, кількість лопатей - 3 і 6 шт, генератор - змінного струму ВГ-5 , інвертор МАП «Енергія» - 48 В (2 шт.), кількість акумуляторних батарей - 8 шт.

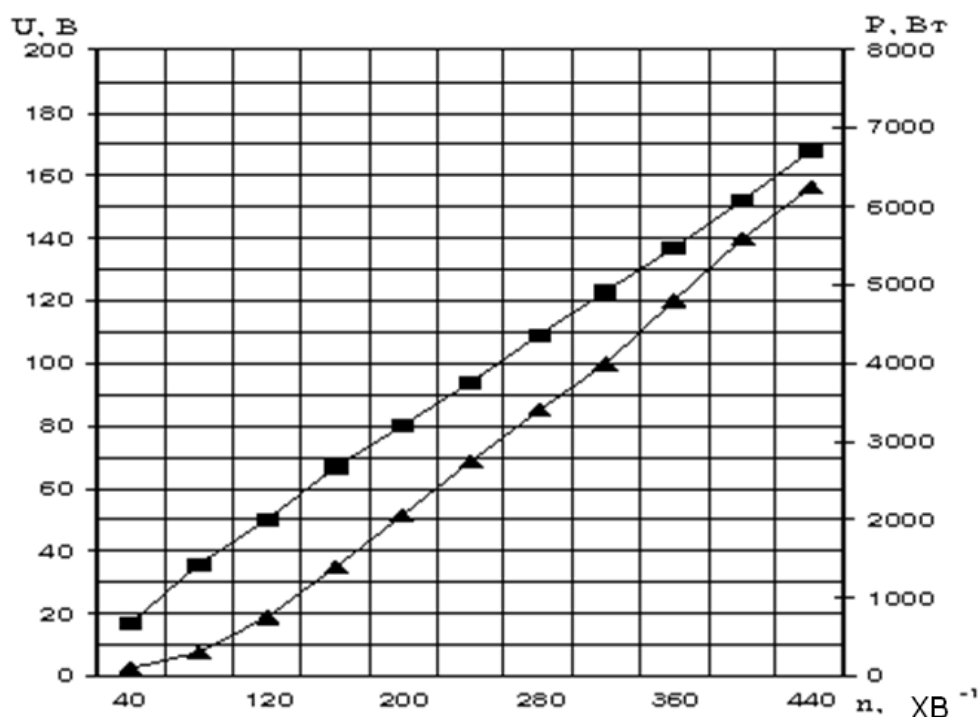


Рисунок 3.3 – Швидкісні характеристики генератора ВГ-5

Висновки до розділу 3

Використана енергія вітру залежить від трьох основних параметрів, які називаються базовими швидкостями вітру: мінімальна швидкість вітру (v_0), при якій ВЕУ починає вироблення енергії; розрахункова швидкість (v_p), при якій ВЕУ виходить на розрахунковий режим і розвиває номінальну потужність; максимальна швидкість вітру (v_{\max}). Швидкість вище максимальної стає критичною для вітроустановки.

4 СТАРТАП-ПРОЕКТ

4.1 Опис ідеї проекту

У даному проекті представляється вітросилова установка, яка може виробляти до 1 кВт електроенергії за годину та 100 кубометрів. Також дані установки можна використовувати і сільському господарстві.

В Україні в 2015 році ХТЗ випустив трактор з електродвигуном ХТ32511Е. Даний транспортний засіб обладнаний літєво-іонними акумуляторами потужністю 40 кВт та електродвигуном потужністю 40 кінських сил.

Одного заряду батареї достатньо для 10 годин роботи в транспортному режимі та 4 в силовому. Час необхідний для повної зарядки батареї – 10 годин.

Тобто на території площею 1 гектар достатньо встановити 2 вітросилові установки, які будуть виробляти на тиждень 2500 кВт та 25 кубометрів води. Цього достатньо для роботи вищеописаного трактора протягом 250 годин в силовому режимі, а води, що накопичилася в резервуарі вистачить на полив 50 гектарів землі.

Для порівняння робота трактору, який працює на дизельному паливі з розрахунком використання палива 10 літрів за годину в силовому режимі обійдеться підприємству в 70 тис грн. при виконанні такої ж кількості роботи, яку можна виконати за допомогою електроенергії виробленою ВСУ на тракторі ХТ32511Е.

Якщо при 40-годинному робочому тижні 250 годин роботи це близько 6 тижнів, то термін окупності однієї установки сягатиме 3 тижні, а двох 6 тижнів.

Таблиця 4.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Суть проекту заключається у виготовленні та продажу вітросилових установок типу «Ромашка», які дозволяють окрім електроенергії добувати ґрунтові води	1. Сільськогосподарські підприємства	1. Відсутність витрат на паливе для обробки землі та транспортування води
	2. Власники приватних будинків	2. Відсутність витрат на водопостачання та електроенергію
	3. Власники підприємств малого і середнього бізнесу	3. Відсутність витрат на водопостачання та електроенергію

Для визначення слабких і сильних сторін проекту були обрані установки однакової потужності, що співпадає з потужністю розробленого проекту. Отримані результати наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Вивчення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики	Потенційні товари (концепції) конкурентів			W (Слабка сторона)	N (Нейт-ральна сторона)	S (Силь-на сторо-на)
		Мій проект	«Еко-центр», EW-2	«Еко-центр», Номінал-1			
1.	Вартість	36500	74880	194112			+
2.	Функціональність	2 функції	1 функція	1 Функція			+
3.	Рівень шуму на відстані 200 метрів	25дБ	42дБ	36 дБ			+
4.	Стартова швидкість вітру	2,5 м/с	4,5м/с	1,5 м/с		+	
5.	Вага установки	37 кг	289 кг	17 кг		+	
6.	Коефіцієнт використання вітру	0,36	0,34	0,42		+	

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Закупка необхідних матеріалів	Необхідний матеріал для виготовлення установки Аліміній-магнієвий сплав АМг-6	+	+
2.	Свердління	Свердління необхідних технологічних отворів у заготовках	+	+
3.	Різання матеріалу	Виготовлення деталей проекту	+	+
4.	Збирання готової установки	Виконання робіт по збору установки	+	+

Виготовлення установки не несе технологічної складності, адже дані технології доступні для широкого загалу.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	6
2.	Загальний обсяг продаж, грн/од	120000
3.	Динаміка ринку	Зростає
4.	Наявність обмежень для входу	Відсутні
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6.	Середня норма рентабельності по ринку, %	22

Таблиця 4.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Забезпечення енергією та водою для оброблення сільськогосподарських угідь	Власники земельних ділянок, де вирощуються сільськогосподарські культури	Бажання не залежати від вартості палива та близькості джерела води	Можливість роботи установки без постійного нагляду
2.	Забезпечення енергією та водою приватного будинку	Власники приватних будинків, мешканці сільських населених пунктів	Зменшення вартості утримання будинку, забезпечення будинку водою	Постійна наявність електро-енергії та води
3.	Забезпечення енергією та водою невеликого підприємства	Власники малого та середнього бізнесу	Забезпечення електро-енергією та водою підприємства	Постійна наявність електро-енергії та води

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Неспроможність вести конкуренцію з більшими компаніями	Довіра населення та підприємців більш відомим компаніям та технологіям	Проведення інформаційної роботи з підприємствами та реклама для населення
2.	Недовіра до альтернативної енергетики	Неготовність населення та підприємців вкладати гроші в альтернативну енергетику та нові технології	Проведення інформаційної роботи з підприємствами та реклама для населення

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактори	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Вихід на міжнародний ринок	Можливість продавати продукцію за межами держави	Можливі відкриття виробництв компанії закордоном
2.	Розширення кола можливих споживачів	Можливість продавати продукцію більшому колу різних підприємств	Пристосування виробу для різних сфер діяльності підприємств

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	Прояв даної характеристики	Вплив на діяльність підприємства
1. Олігополія	Наявність декількох виробників подібної продукції	Стимул розвивати ідею та збільшувати обсяги виробництва
2. Національний	Конкуренція лише в умовах однієї держави	Вдосконалення технологій для виходу на міжнародний ринок
3. Внутрішньогалузева	Всі конкуренти відносяться до сфери альтернативної енергетики	Рекламна робота для досягнення більшої популярності продукту і в прихильників інших способів отримання енергії
4. Товарно-видова	Пропонується встановлення установок подібного типу	Розробка установок і для більш широкого кола вирішення енергетичних питань
5.Цінова	Існують установки різних типів з різною вартістю	Притримуватися обраної цінової політики, але вести розробку і більш дорогих проектів
6. Немарочна	Продукція на ринку має різні характеристики та ціни	Притримуватися обраної цінової політики, але вести розробку і більш дорогих проектів

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	«Флай-Тек» «Winder» «Biowatt»	Відсутність власних розробок, патенти	Якість сировини для виготовлення продукції	Попит на продукцію певного виду	Популярність інших джерел альтернативної енергії
Висновки	Конкуренція носить інтенсивний характер, адже даний вид продукції ще не отримав достатньої популярності	Вихід на ринок можливий при наявності власних розробок, що відрізняють продукцію від уже існуючої	Від якості та вартості сировини, яку надає постачальник залежить можливість виготовлення продукції	Характеристики установок, що розроблюються напряму залежать від потреб клієнта	Крім даного виду альтернативної енергетики існує ще декілька не менш популярних

Отже, для конкурентоспроможності проект має відмінності від продукції конкурентів, має бути більш універсальним. Проект вітросилової установки типу «Ромашка» має дуже сильну сторону – установка замість однієї функції виконує дві, що робить її більш універсальною.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1.	Широке коло застосування	Дана розробка може застосовуватися в багатьох сферах
2.	Невисока вартість	Невисока вартість робить установку доступною для використання не лише підприємствами, а й населенням
3.	Функціональність	Установка виконує дві важливі функції одночасно

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «ВСУ типу «Ромашка»

№ п/п	Фактори конкурен- тоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів конкурентів у порівнянні з розробленою установкою						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Широке коло застосування	18						+	
2.	Невисока вартість	15		+					
3.	Функціональність	20		+					

Таблиця 4.12. SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Широке коло застосування 2. Доступність 3. Функціональність 4. Зростаюча популярність 5. Простота 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Наявність альтернатив в інших галузях
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вихід на міжнародний ринок 2. Розширення кола можливих споживачів 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Неспроможність вести конкуренцію з більшими компаніями- 2. Недовіра до альтернативної енергетики

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Отримання фінансів для впровадження стартап-проекту	Висока	1 тиждень
2.	Облаштування місця виробництва та закупівля обладнання	Висока	2 місяці
3.	Закупівля необхідної сировини та матеріалів	Висока	2 тижні
4.	Рекламна робота з цільовою аудиторією	Висока	1 місяць

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Сільське господарство	Середня	Середня	Невисока	Середня
2.	Власники малого та середнього бізнесу	Вище середньої	Вище середньої	Вище середньої	Висока
3.	Власники приватних будинків	Висока	Вище середньої	Невисока	Висока
Які цільові групи обрано: сільське господарство, власники малого та середнього бізнесу, власники приватних будинків					

Оскільки обрано декілька сегментів для роботи, доцільно обрати стратегію диференційованого маркетингу.

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є компанія «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	В певній мірі так	Пошук нових споживачів	Ні	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимога до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту
1.	Постійне забезпечення електроенергією та водою; Автономність установки; Невеликий термін окупності	Стратегія диференційованого маркетингу	Висока ефективність; Функціональність; Доступність; Автономність	1. Компанія, що забезпечує обладнанням для отримання «зеленої» енергії 2. Розробка багатофункціональних установок 3. Можливість мати незалежне підприємство, дім, офіс

Отже, проект дозволяє вийти на ринок як компанія, що працює з декількома сегментами споживачів в сфері альтернативної енергетики.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1.	Забезпечення електроенергією сільськогосподарської техніки, приватного будинку, офісу	Самостійне вироблення енергії підприємством чи власником будинку за рахунок даної установки	Окрім електроенергії дана установка може забезпечувати водою
2.	Забезпечення водою сільськогосподарських земель, приватного будинку, офісу	Самостійний видобуток підземних вод без затрат електроенергії	Вироблення електроенергії

Таблиця 4.19. Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межа встановлення ціни на товар
80 000 грн	120 000грн	800 000-3 000 000 грн	70 000-110 000 грн

Таблиця 4.20. Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Закупівля одразу декількох установок	Доставка, встановлення та запуск установок	Канал нульового рівня	Вертикальна

Таблиця 4.21. Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користується клієнти	Ключові позиції обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Закупка відразу декількох установок	ЗМІ, зовнішня реклама, соцмережі	Доступна установка вироблення «чистої» енергії та подачі води	Популяризувати альтернативну енергетику	Переконати в доцільності купівлі саме даної установки

Висновки до розділу 4

1. З проведеного аналізу можна зробити висновок про доцільність впровадження даного проекту, адже зростає популярність альтернативної енергетики. Виробництво є рентабельним.

2. Серйозних бар'єрів для входу в ринок немає, адже проект конкурентоспроможний і в своєму роді аналогів не має.

ВИСНОВКИ

Магістерська дисертація присвячена дослідженню параметрів та аналізу факторів, що впливають на роботу вітросилових установок та вдосконаленню на їх основі вітроагрегату з метою вироблення установкою електроенергії та видобутку ґрунтових вод.

1. З аналізу літературних джерел визначено, що використання вітросилових установок є найбільш ефективним способом використання вітрової енергії. В електрогенераторів ефективність перетворення механічної енергії в електричну складає 95%, а втрати електричної енергії при передачі не перевищують 10%.

2. Встановлено, що використана енергія вітру залежить від трьох основних параметрів, які називаються є швидкостями вітру: мінімальна швидкість вітру (v_0), при якій ВЕУ починає вироблення енергії; розрахункова швидкість (v_p), при якій ВЕУ виходить на розрахунковий режим і розвиває номінальну потужність; максимальна швидкість вітру (v_{max}). Швидкість вище максимальної стає критичною для вітроустановки.

3. Встановлено залежності ефективності роботи вітросилової установки від швидкості вітру та особливостей конструкції лопатей. Отримано математичну модель для залежності частоти обертання вітроколеса від швидкості вітру у вигляді поліному 5-ого ступеня.

4. На базі ВСУ типу «Ромашка» розроблено спосіб і технологічну схему отримання електроенергії з одночасною можливістю добування ґрунтових вод для потреб сільського господарства. Крім електроенергії, яка може використовуватися для обробки сільськогосподарських угідь, дана установка забезпечує їх водою. В інакшому випадку воду для поливу та обробки землі агрохімікатами доводиться транспортувати на різні відстані.

5. Розраховано, що лімітна ціна проектного приладу складає 36251 грн. Термін окупності однієї такої установки складає 3 тижні при відмові від

використання дизельного палива, яке на даний момент є основним джерелом енергії, що застосовується в сільському господарстві.

6. Даний проект є економічно вигідним для використання підприємствами малого та середнього бізнесу, враховуючи невелику вартість та короткий термін окупності. Основні витрати цієї ВСУ типу «Ромашка» полягають у її встановленні та виготовленні деталей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кривцов В. С., Олейников А. М., Яковлев А. І. Невичерпна енергія: вітроелектрогенератори: підручник. Харків : НАУ «ХАІ», 2003. 400 с.
2. Кривцов В. С., Олейников А. М., Яковлев А. І. Невичерпна енергія: вітроенергетика: підручник. Харків : НАУ «ХАІ», 2004. 519 с.
3. Богатирєв Н. І., Креймер А. С. Імітаційне моделювання вітроенергетичної установки. Київ : Основа, 2000. 416 с.
4. Белей В. Ф. Аналіз режимів роботи вітрової установки. Санкт-Петербург : ФТІ ім. Іоффе, 2001. 285 с.
5. Биков Е. М. Обґрунтування параметрів роботи вітроенергетичної установки зі спіральними лопатями на основі проведених експериментальних досліджень : дис. ... канд. тех. наук. Санкт-Петербург : Санкт-Петербурзький державний політехнічний університет, 2007. 141 с.
6. Белей В. Ф. Вітроенергетичні установки: тенденції розвитку, проблеми підключення і експлуатації. Санкт-Петербург : ФТІ ім. Іоффе, 2005. 416 с.
7. Деркачев С. В. Актуальність і проблеми розвитку вітроенергетики в Україні. Київ : Урожай, 2006. 272 с.
8. Кліміна Л. А. Вертикально-осьова вітротурбіна. Москва : Московський державний університет імені М. В. Ломоносова, 2010. 123 с.
9. Субота А. М., Гаєва Д. А. Майбутнє енергетики – альтернативні джерела енергії. *Радіоелектронні і комп'ютерні систем.* Київ, 2010. Вип. 45. С. 14-15.
10. Белей В. Ф. Сучасна вітроенергетика: тенденції розвитку проблеми і шляхи їх вирішення. Санкт-Петербург : Електрика, 2006. 256 с.
11. Радін В. І. Керовані електричні генератори при змінній частоті. Санкт-Петербург : Енергія, 1998. 528 с.
12. Косилова А. Г. Довідник технолога-машинобудівника. Москва : Машинобудування, 1995. 528 с.

13. Яхно О. М., Таурит Т. Г., Грабар І. Г. Вітроенергетика: конструювання та розрахунок ВЕУ. Житомир : ЖДТУ, 2003. 248 с.
14. Єлістратов В. В. Використання вітроенергетичних установок в північно-західному регіоні РФ. Москва : Энергонадзоринформ, 2006. 336 с.
15. Олейніков А. М., Матвєєв Ю. В., Канов Л. М. Моделювання режиму вітроелектричної установки малої потужності. Київ : ІЗМО, 2010. 236 с.
16. Лахтін Ю. М., Леонтьєва В. П. Матеріалознавство. Москва : Машинобудування, 1990. 148 с.
17. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: навчальний посібник. Київ : Вища школа, 1993. 264 с.
18. Руденко П. О., Харламов Ю. О., Шустик О. Г. Вибір проектування і виробництво заготовок деталей машин: навчальний посібник. Київ : ІСДО, 1993. 164 с.
19. Олейніков А. М., Канов Л. М., Матвєєв Ю. В., Зарицька О. І. Математична модель автономної без редукторної вітроелектричної установки на генераторі з постійними магнітами. Київ : ІЗМО, 2010. 142 с.
20. Островий А. В. Метод дискретних вихрів в задачах аеродинаміки відривного обтікання ортогональних роторів вітросилових установок: дис. ... канд. тех. наук. Самара : Самарський державний аерокосмічний університет імені академіка С. П. Корольова, 2003. 183 с.
21. Сіманков В. С., Зангієв Т. Т. Системний аналіз при рішенні структурних задач альтернативної енергетики. Краснодар : Інститут сучасних технологій та економіки, 2001. 151 с.
22. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделювання систем. Москва : Вища школа, 1999. 271 с.
23. Белей В. Ф. Розрахунок вироблення електроенергії вітроенергетичними установками по даних вітропотенціала. Калінінград : КГТУ, 2004. 184 с.
24. Рожко А. О. Перспективи використання відновлювальних джерел енергії в Україні. *Енергозбереження*. Київ, 2007. № 2. С. 25-28.

25. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Енергозбереження в сільськогосподарській біоконверсії: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2006. 242 с.
26. Коробко Б. С. Енергетика та сталий розвиток. Київ : Основа, 2006. 285 с.
27. Сериков Я. А., Пархоменко Є. М. Техніко-екологічний аналіз вітроенергетики і вітроенергетичних установок, як джерел шуму. Москва : ГЕОС, 2008. 328 с.
28. Васько В. П. Управління параметрами електроенергії автономних вітроелектричних станцій. Вінниця : ВНТУ, 2002. 246 с.
29. Безруких П. П. Використання енергії вітру. Техніка, економіка , екологія. Москва : Колос, 2008. 196 с.
30. Брускін Д. Е. Електричні машини: навчальний посібник. Москва : Вища школа, 1987. 319 с.
31. Бут Д. О. Безконтактні електричні машини Москва : Вища школа, 1990. 416 с.
32. Андріанов В. М., Бистрицький Д. Н., Вашкевич К. П. Вітроелектростнації. Москва : Державне енергетичне видавництво, 1960. 320 с.
33. Фатєєв Є. М. Вітродвигуни та вітроустановки. Москва : Сельхозгиз, 1957. 236 с.
34. Харитонов В. П. Автономні вітроелектричні установки. Москва : ГНУ ВИЭСХ, 2006. 280 с.
35. Шакарян Ю. Г. Асинхронізовані синхронні машини. Москва : Энергоатомиздат, 1984. 364 с.
36. Шефтер Я. І. Використання енергії вітру. Москва : Энергоатомиздат, 1983. 199 с.
37. Ярас А. Енергія вітру. Москва : Мир, 1982. 256 с.
38. Янсон Р. А. Вітроустановки: підручник. Москва : МГТУ ім. Баумана, 2007. 360 с.

39. Головка В. М., Коханевич В. П., Шихайлов М. О. Визначення впливу параметрів лопаті на енергетичні характеристики ротора. *Відновлювальна енергетика*. Київ, 2014. № 3. С. 58-63.
40. Кудря С. А., Пермінов Ю. М., Буденний І. В. Особливості проектування вітрогенераторів. *Відновлювальна енергетика*. Київ, 2014. № 3. С. 54-57.
41. Головка В. М., Коханевич В. П., Шихайлов М. О. «Кут атаки» малої вітроенергетики. *Українаелектро*. Київ, 2014. № 1-2. С. 42-51.
42. Головка В. М., Коханевич В. П., Шихайлов М. О., Зінченко Т. В. Аналіз характеристик лопаті ротора автономної вітроенергетичної установки. *Відновлювальна енергетика*. Київ, 2013. № 3. С. 49-53.
43. Фаворський Ю. П. Створення моделі оптимального стану гібридних вітросонячних систем електрозабезпечення. *Альтернативна енергетика і екологія*. Київ, 2012. №5-6. С. 98-107.
44. Кудря С. А., Тучинський Б. Г. Передумови, стимули і перспективи розвитку вітроенергетики в Європі та Україні. *Альтернативна енергетика і екологія*. Київ, 2011. № 8. С. 29-37.
45. Кузнецов Н. П., Сахно Б. Г., Кудря С. А. Досвід використання вітрових електроустановок в Україні. *Альтернативна енергетика і екологія*. Київ, 2011. № 8. С. 50-53.
46. Запорожець Ю. М., Кудря С. А. Вітросонячні енергетичні комплекси з водневим циклом. *Альтернативна енергетика і екологія*. Київ, 2011. № 8. С. 66-75.
47. Головка В. М., Коханевич В. П., Шихайлов М. О. Дослідження процесів перетворення вітру в локальних енергосистемах. *Альтернативна енергетика і екологія*. Київ, 2011. № 8. С. 44-49.
48. Головка В. М., Коханевич В. П., Шихайлов М. О. Алгоритм аналізу параметрів геліоітроенергетичного обладнання сільськогосподарського виробництва. *Вісник Харківського НТУСГ ім. П. Василенка*. Харків, 2011. № 116. С. 86-88.

49. Кудря С. А., Перминов Ю. Н., Буденный В. Ф. Проектування магнітних систем з постійними магнітами для вітрогенераторів. *Відновлювальна енергетика*. Київ, 2011. № 1. С. 31-34.

50. Мхитарян Н. М., Кудря С. А., Перминов Ю. Н., Буденный В. Ф. Особливості проектування синхронного генератора вітроустановок. *Відновлювальна енергетика*. Київ, 2011. № 2. С. 53-56.